



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний

(повна назва інституту/факультету)

Оптичних та оптико-електронних приладів

(повна назва кафедри)

УДК 621.384

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.Г. Колобродов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2019р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності (спеціалізації):

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(код і назва спеціальності)

На тему:

«Інформаційно-вимірювальна електронна система»

Виконав:

Студент 6 курсу, групи ПО-82 мп

(шифр групи)

Андреев Аскольд Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник:

ст. викл., Кравченко І. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище,

(підпис)

ініціали)

Консультант:

Стартап-проект

(назва розділу)

д.е.н., доцент Бояринова К.О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

ЗМІСТ

Передмова

Розділ 1. Огляд літератури

1.1 Параметри та характеристики камер

1.2 Методи вимірювання спектральних характеристик

1.3 Вибір елементів

1.3.1 Вибір джерела випромінювання

1.3.2 Монохроматори

1.3.3 Конденсор

1.4 Висновки розділу

Розділ 2. Фізико-математична модель

2.1 Параметри спектральних приладів. Розрахунок параметрів системи

2.2 Висновки до розділу

Розділ 3. Дослідження працездатності стенду та проведення експерименту

3.1 Методика проведення вимірювань

3.2 Результати вимірювань

Розділ 4. Розробка стартап проекту

Висновки

Список літератури

Реферат

Інформаційно-вимірювальна оптико-електронна система

Обсяг роботи (кількість сторінок) - 102

Кількість ілюстрацій - 52

Кількість таблиць - 24

Кількість джерел за переліком посилань - 18

Актуальність теми. Розвиток галузі приладобудування зумовив попит на засоби та системи контролю приладів. До систем контролю можна віднести описану в даній роботі інформаційно-вимірювальну оптико-електронну систему. Оптичні прилади, а конкретніше - відеокамери, мають широкий спектр галузей застосування, одними з яких є військова справа, науково-технічні центри та дослідницькі лабораторії, побутова сфера, тощо. Вимоги до цифрових систем реєстрації зображень варіативні, але головними критеріями залишаються якість матеріалів/збірки, відповідність вказаним виробниками характеристикам (паспортним даним). Як показує практика, відсоток невідповідності заданим характеристичним даним серед виробників приладів та пристроїв реєстрації зображення досить істотний, і якщо в побутовій сфері для особистого використання невідповідність камери заданим характеристикам буде лише приводом для засмучення користувача і не нестиме нічого крім обману сподівань, то в сферах науково-дослідницьких чи, наприклад, військовій справі, - серйозні відхилення від очікуваних результатів несуть в собі прямі загрози життю, тощо. Саме тому доцільність наявності систем контролю відповідності реальних характеристик заданим є актуальною!

Мета та завдання дослідження. Мета роботи - оцінювання якості зображень цифрових відеокамер за допомогою спроектованого стенду і розробленої методики.

Вищевказана мета може бути досягнута вирішенням **наукової та інженерної задач**. Наукова задача полягає у наступному: вдосконалення методів вимірювання спектральних характеристик чутливості цифрових відеокамер. Інженерна задача являє собою розробку працездатного стенду та методики проведення вимірювання та обробки результатів.

Об'єктом дослідження являється приймальний канал цифрових відеокамер, а предметом дослідження є процедура визначення спектральних характеристик чутливості цифрових відеокамер.

Методи дослідження. Задля вирішення встановлених цілей необхідно скористатись положеннями геометричної та фізичної оптики, методологією конструювання приладів та їх вузлів, застосувати навички комп'ютерного моделювання, скористатись базовими знаннями мікропроцесорної техніки.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі існуючих наразі методів, систем та засобів оцінювання якості зображень цифрових відеокамер була виявлена необхідність у створенні альтернативного інструменту для задоволення потреб галузі.

Публікації. За результатами навчання прийняті до опублікування такі наукові статті і тези конференцій:

1. Андреев А. А., Кравченко І.В. “Особенности обработки сигналов в системах с фазовой модуляцией” / XII Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Погляд у майбутнє приладобудування” – Київ, 2019.

2. Андреев А. А., Кравченко І.В. “ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ З ГАРМОНІЙНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ” / IX Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасний рух науки» –Дніпро, 2019.
3. Андреев А. А., Кравченко І.В. “ЦИФРОВА ОДНОПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИКО - ЕЛЕКТРОНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО - ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ” / XXXVIII Міжнародна інтернет — конференція «СВІТОВИЙ РОЗВИТОК НАУКИ ТА ТЕХНІКИ»— Київ, 2019.

Abstract

Optical-electronic information-measuring system

Scope of work (number of pages) - 102

Number of illustrations - 52

Number of tables - 24

The number of sources in the list of references - 18

Actuality of theme. The development of the instrument industry has led to a demand for instrumentation and control systems. Control systems include the information-measuring opto-electronic system described in this paper. Optical instruments, and more specifically video cameras, have a wide range of applications, some of which are military, scientific and technical centers and research laboratories, the domestic sphere, and the like. Requirements for digital image registration systems are variable, but the main criteria are the quality of materials / assembly, compliance with the manufacturers specified characteristics (passport data). As practice shows, the percentage of discrepancy given by the characteristic data among the manufacturers of devices and devices of image registration is quite significant, and if in the personal sphere for personal use, the discrepancy of the camera with the given characteristics will be only cause for frustration of the user and will carry nothing but deception of hopes, then research, or, for example, military, serious deviations from the expected results pose a direct threat to life, etc. That is why the expediency of having systems of control of conformity of real characteristics is given is actual!

The purpose and objectives of the study. The purpose of the work is to evaluate the image quality of digital camcorders with the help of a designed stand and developed methodology.

The above goal can be achieved by solving scientific and engineering tasks.

The scientific task is to improve the methods of measuring the spectral characteristics of the sensitivity of digital video cameras. **The engineer's task** is to develop a workable stand and techniques for measuring and processing results.

The object of study is the receiving channel of digital video cameras, and the subject of the study is the procedure for determining the spectral characteristics of the digital video cameras.

Research methods. To accomplish the set goals, it is necessary to use the provisions of geometric and physical optics, methodology of designing devices and their components, apply computer modeling skills, use basic knowledge of microprocessor technology.

Scientific novelty of the obtained results. Based on the currently available digital video camera image quality assessment methods, systems and tools, the need for an alternative tool to meet the industry's needs has been identified.

Publications. According to the results of study accepted for publication the following scientific articles and theses of conferences:

1. Andreev A.A., Kravchenko I.V. "Features of Signal Processing in Phase-Modulated Systems" / XII Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "A Look into the Future of Instrumentation" - Kyiv, 2019.
2. Andreev A.A., Kravchenko I.V. "ASSESSMENT OF SIGNAL PARAMETERS IN OPTIC-ELECTRONIC SYSTEMS WITH HARMONIC MODULATION" / IX International Scientific and Practical Internet Conference "Modern Movement of Science" - Dnipro, 2019.

3. Andreev A.A., Kravchenko I.V. "DIGITAL ONE-PARAMETRIC MODEL OF OPTICAL - ELECTRONIC INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM" / XXVIII International Internet Conference "WORLD DEVELOPMENT OF SCIENCE" - Kyiv, 2019.

Передмова

Розвиток галузі приладобудування зумовив попит на засоби та системи контролю приладів. До систем контролю можна віднести описану в даній роботі інформаційно-вимірювальну оптико-електронну систему.

Оптичні прилади, а конкретніше - відеокамери, мають широкий спектр галузей застосування, одними з яких є військова справа, науково-технічні центри та дослідницькі лабораторії, побутова сфера, тощо. Вимоги до цифрових систем реєстрації зображень варіативні, але головними критеріями залишаються якість матеріалів/збірки, відповідність вказаним виробниками характеристикам (паспортним даним).

Як показує практика, відсоток невідповідності заданим характеристичним даним серед виробників приладів та пристроїв реєстрації зображення досить істотний, і якщо в побутовій сфері для особистого використання невідповідність камери заданим характеристикам буде лише приводом для засмучення користувача і не нестиме нічого крім обману сподівань, то в сферах науково-дослідницьких чи, наприклад, військовій справі, - серйозні відхилення від очікуваних результатів несуть в собі прямі загрози життю, тощо. Саме тому доцільність наявності систем контролю відповідності реальних характеристик заданим є актуальною!

Мета та завдання дослідження. Мета роботи - оцінювання якості зображень цифрових відеокамер за допомогою спроектованого стенду і розробленої методики.

Вищевказана мета може бути досягнута вирішенням **наукової та інженерної задач**. Наукова задача полягає у наступному: вдосконалення

методів вимірювання спектральних характеристик чутливості цифрових відеокамер. Інженера задача являє собою розробку працездатного стенду та методики проведення вимірювання та обробки результатів.

Об'єктом дослідження являється приймальний канал цифрових відеокамер, а предметом дослідження є процедура визначення спектральних характеристик чутливості цифрових відеокамер.

Методи дослідження. Задля вирішення встановлених цілей необхідно скористатись положеннями геометричної та фізичної оптики, методологією конструювання приладів та їх вузлів, застосувати навички комп'ютерного моделювання, скористатись базовими знаннями мікропроцесорної техніки.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі існуючих наразі методів, систем та засобів оцінювання якості зображень цифрових відеокамер була виявлена необхідність у створенні альтернативного інструменту для задоволення потреб галузі.

Розділ 1

1.1 Параметри та характеристики камер

У списку характеристик камер відеоспостереження всіх існуючих форматів, виробниками вказується ряд параметрів, відповідно типу застосованої в камері матриці, її якості, відеопроцесора, що використовується для обробки сигналу, а також ряду додаткових функцій, якими оснащена відеокамера.

Через ці характеристики виражений головний критерій оцінки камери і доцільності її застосування в необхідних умовах - якість зображення, його придатність для ефективного спостереження чи реєстрації даного зображення для подальшої обробки/збереження, точної ідентифікації осіб і об'єктів на ділянці контролю, тощо. [1].

Точну і вичерпну оцінку можливостей камери в реальних умовах спостереження, в певному місці розміщення на об'єкті, з різним розташуванням будівель, перешкод і огорож, при різному освітленні в різний час доби і в різних погодних умовах, виконати без тестового підключення і перегляду практично неможливо.[2] Однак, орієнтуючись в цифрових величинах параметрів відеокамери та додаткових опцій, якими вона оснащена, можна, досить точно виконати підбір обладнання, яке максимально ефективно впорається з поставленим завданням.[1].

Для цієї мети необхідно класифікувати параметри по групах важливості для заданих умов, і зорієнтуватися в порівняльних характеристик різних камер. [3]

Фокусна відстань об'єктива

Мабуть основним параметром, на який треба звернути увагу при виборі камери, це фокусна відстань об'єктива, що визначає кут огляду і ступінь деталізації зображення.[1]

Мінімальна освітленість

Це характеристика, що показує мінімальний рівень освітленості, при якому камера відеоспостереження зберігає свою працездатність. Ця характеристика відноситься до матриці відеокамери.[1]

Як правило світловий потік на шляху до матричного приймача випромінювання послаблюється, перш за все за рахунок втрат об'єктива та інших факторів. Мінімальна освітленість вимірюється в Люксах (Лк), її величина дає уявлення про “світлочутливість камери”, тобто починаючи з значення освітленості камера здатна реєструвати зображення.[1]

Роздільна здатність камери відеоспостереження

Роздільна здатність визначає ступінь деталізації зображення. Вона визначається кількома параметрами:

- характеристиками матриці відеокамери,
- якістю об'єктива і його фокусною відстанню,
- дистанцією до спостережуваного об'єкта.

Також роздільна здатність системи відеоспостереження визначається і іншими пристроями системи відеоспостереження, такими як роздільна здатність запису на відеореєстраторі і роздільна здатність монітора. [5]

По суті важливим параметром при виборі камери є не стільки роздільна здатність, скільки деталізація зображення.

Розмір матриці

Основним елементом камери відеоспостереження є ПЗС-матриця. Це сукупність осередків, здатних передавати інформацію про світлі. Розмір

матриці вимірюється по діагоналі в дюймах. При виборі камери слід враховувати, що чим більше розмір матриці, тим більше розміри камери, але розмір матриці не впливає на якість зображення. Найбільш поширені відеокамери з розміром матриці 1/2", 1/3", 1/4", проте існують також матриці з розмірами 1/6", 2/3", 3/4", 1" і т.д. Варто розуміти, що чим більші розміри матриці - тим більші розміри пікселів, що позитивно сказується на якості зображення, отримання з допомогою даної камери. [3]

Кут поля зору відеокамери

Кут поля зору камери - параметр, який визначається фокусною відстанню об'єктива та розмірами матриці. Часто цей параметр вказується в градусах. Широкому куту поля зору, відповідають маленькі фокусні відстані. Для спостереження за віддаленими об'єктами застосовують об'єктиви з великою фокусною відстанню. Зазвичай 28,0 - 75,0 mm і більші.[3]

Об'єктив з широким кутом поля зору дає хороший панорамний огляд, але при цьому зменшується відстань, на якому відеокамера приймає сигнал. При використанні ж довгофокусних об'єктивів навпаки звужується поле зору, але збільшується відстань, на яке «бачать» камери.[3]

Автоматичне регулювання підсилення

Даний параметр забезпечує зміна коефіцієнта підсилення відеосигналу в залежності від його рівня. При поганій видимості в темряві або під час опадів рівень відеосигналу, що надходить з камер знижується. Даний параметр розширює робочий діапазон відеокамери для різних умов освітленості.[3]

Відношення сигнал-шум

Параметр характеризує якість зображення. Оптимальні значення вище 45 дБ. Дана характеристика важлива і на неї потрібно звертати увагу при виборі відеокамери. [1]

Автоматичне регулювання діафрагми

Параметр визначає можливість регулювання кількості світла, що потрапляє на матрицю в умовах змінної освітленості. Параметр важливий, переважно, для камер зовнішнього відеоспостереження. [4]

Спектральна характеристика

В військовій, технічній галузях застосування важливим є такий параметр як “колір”, якому відповідає спектральна характеристика камер.

Характеристики досліджуваної камери

SPECIFICATIONS	
Pixels	2304H x 1536V
Sensor size	1/3-Inch / 5.8mm
Imaging area	5.07mm x 3.38mm
Shutter	Electronic Rolling Shutter
Sensitivity	1.9 V/lux-sec (550nm)
Sensor dynamic range	72.4dB
Sensor pixel size	2.2µm x 2.2µm
Frame rates	h.264 – 30fps in all modes MJPG – 30fps in all modes YUV 4:2:2 (YUYV) <ul style="list-style-type: none"> 1920x1080 – 5fps 1280x720 – 10fps 640x480 – 30fps
Output dimensions	1920x1080, 1280x720, 640x480, 640x360, 320x240, 320x180
Scan	Progressive
Manual control	<ul style="list-style-type: none"> Exposure White balance (2800°K – 9300°K) Gain Gamma Backlight compensation Sharpness, Contrast, Saturation, Hue, Brightness, Anti-flicker frequency
Rated power	<ul style="list-style-type: none"> 2W max 350mA @ 5V – h.264 290mA @ 5V – MJPEG / YUYV
Interchangeable filter	17x17x0.5mm. Low pass 650nm filter installed by default, high pass 930nm filter available on request
Supported OS	<ul style="list-style-type: none"> Windows XP, 7, 8, 10 OSX Linux Android
Sensor	Aptina AR0330
Weight	53g
Dimensions	40x40x23mm
Lens mount	C / CS-mount
Operational temperature	-50 ... 85°C

Рис.1.1 “Техпаспорт камери Kurokesu C1”

В даному конкретному випадку розмір матриці досліджуваної камери : $\frac{1}{3}$.

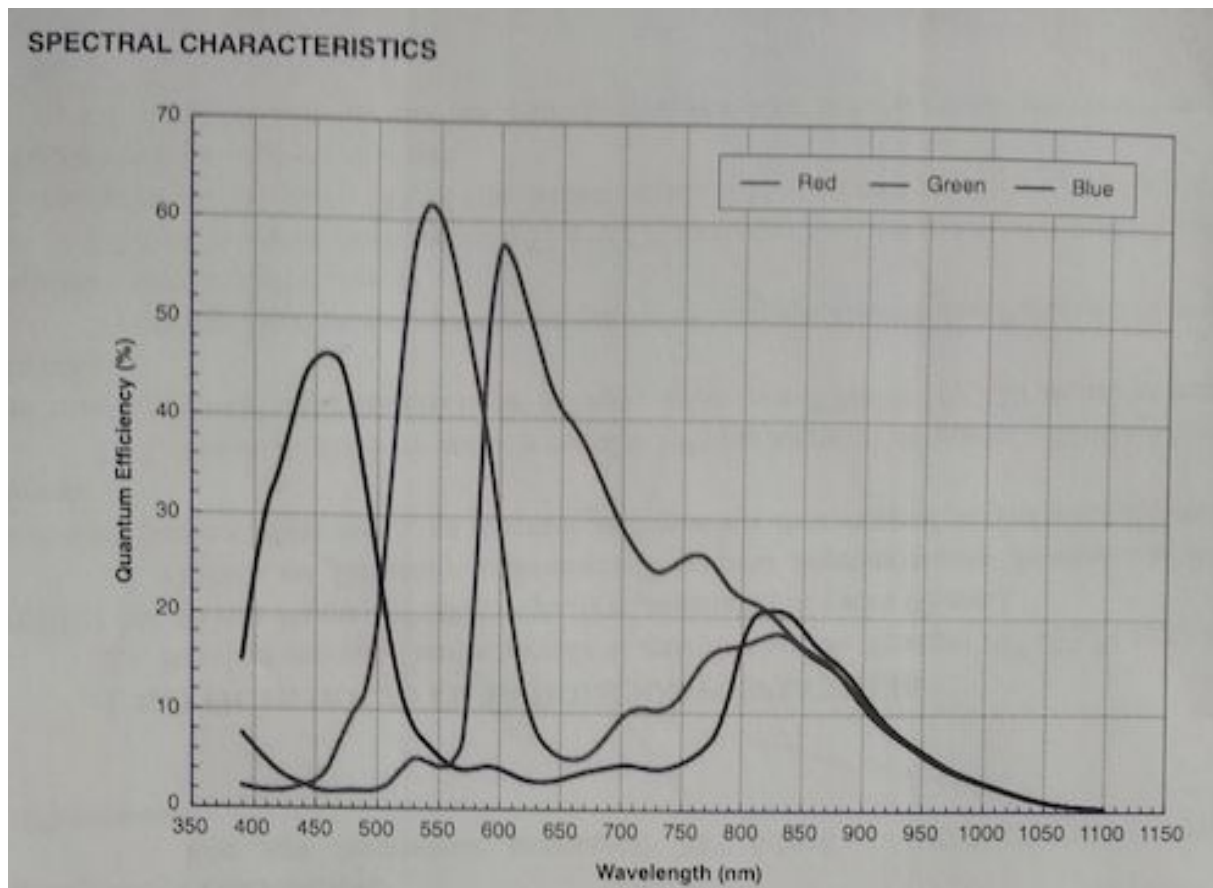


Рис. 1.2 “Заявлені виробником спектральні характеристики досліджуваної камери”

Як показує практика, зазвичай фактичні характеристики досліджуваних зразків відрізняються від заявлених виробником, адже в більшості випадків маркетинг знаходиться для виробника на кілька сходинок вище за якість продукції на щаблі пріоритетів.

1.2 Методи вимірювання спектральних характеристик

Серед різноманітних оптичних методів особливе місце займають спектральні методи вимірювання, за допомогою яких досліджуються:

1. *Спектральна щільність випромінювання.*
2. *Спектральні оптичні характеристики тіл.*
3. *Спектральна й відносна спектральна чутливість приймачів випромінювання.*
4. *Спектральні характеристики оптичних систем.*
5. *Колірні характеристики поверхонь.*
6. *Колориметричні характеристики світлофільтрів тощо. [1]*

Для проведення спектральних вимірювань застосовують спектральні прилади. Спектральним приладом називається оптичний пристрій, що використовується для розкладання електромагнітного випромінювання оптичного діапазону в спектр за довжиною хвиль і для вивчення цього спектра.[1]

Під вивченням спектрів розуміють визначення залежності енергії випромінювання від довжини хвилі або частоти. [1]

Аналіз отриманого спектра можна виконувати різними методами залежно від використаного приймача випромінювання.

Методи вимірювання спектральних характеристик можна виділити за використанням наступних елементів

- кольорові міри
- інтерференційні фільтри
- світлодіод
- монохроматор.

За способом розподілу випромінювання у спектр спектральні прилади діляться на призмennі й дифракційні. Також, можливий 3-й спосіб - використання інтерференційних фільтрів.

Вимірювання спектральних характеристик з використанням фільтрів.

Принцип полягає в наступному - випромінювання від джерела пропускають на досліджувану камеру за допомогою кольорових фільтрів, що дозволяє отримати засвічення матричного приймача випромінюванням з певною довжиною хвилі (монохроматичним). До переваг даного методу можна віднести простоту проведення досліду, його відносну дешевизну та достатню точність. До недоліків можна віднести необхідність додаткового екранування (наприклад реалізацію освітлення матриці через світловод та наявності корпусу в якому будуть знаходитись джерело випромінювання та набір фільтрів) для запобігання потрапляння на матрицю камери випромінювання з відмінними від потрібних довжинами хвиль.

Якщо у фокальній площині вихідного коліматора розташована вихідна щілина, через яку виходить тільки випромінювання в межах вузького спектрального діапазону для дослідження спектрів, то такий спектральний прилад називається **монохроматором**. [1]

Вимірювання спектральних характеристик з використанням монохроматора.

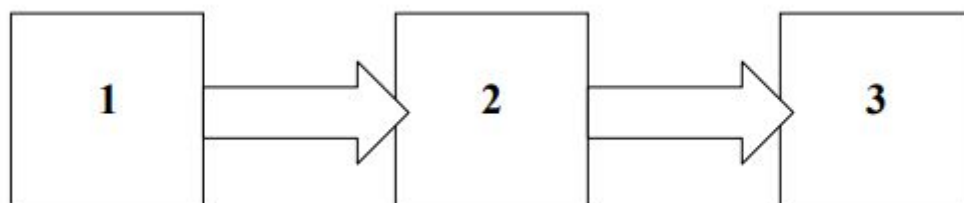


Рис.1.3 – Принципова схема монохроматора [1]

Основними елементами монохроматора є :

1. **Вхідний коліматор** , який складається з вхідної щілини й оптичної системи (системи лінз, дзеркал та ін.) , причому вхідна щілина розташована на оптичній осі об'єктива коліматора в його фокальній площині, що створює на виході з лінзи паралельний пучок променів.[1]

2. **Диспергуючий елемент** служить для розкладання електромагнітного випромінювання оптичної області спектра у спектр за довжинами хвиль. В якості диспергуючої системи, як правило використовуються спектральні призми й дифракційні ґратки.[1]

3. **Вихідний коліматор** складається з камерного об'єктива і пристрою, який розташовано у фокальній площині цієї оптичної системи. [1]

Принцип роботи спектрального приладу й призначення його елементів наступне: досліджуване джерело освітлює вхідну щілину коліматора. Випромінювання, що пройшло через вхідну щілину потрапляє на об'єктив коліматора, після чого паралельним пучком променів направляється на диспергуючий елемент, де відбувається розкладання випромінювання у спектр, причому в спектральній призмі кут відхилення залежить від довжини хвилі: чим більша довжина хвилі, тим на більший кут вона відхиляється від нормалі. [10] Сукупність монохроматичних паралельних пучків променів, що виходять з диспергуючої системи, надходять у камерний об'єктив вхідного коліматора, який фокусує окремі паралельні пучки променів і створює в його фокальній площині сукупність зображень вхідної щілини в світлі різних довжин хвиль.[10] Геометричне місце цих зображень у фокальній площині камерного об'єктива і складає спектр випромінювання, а саме положення зображень вхідної щілини у фокальній площині вихідного коліматора залежить від довжини хвилі, а їх сукупність створює фокальну площину камерного об'єктиву.[7] Якщо в цій площині

розмістити фотопластину, то вона зафіксує спектр випромінювання, яке пройшло крізь прилад. [1]

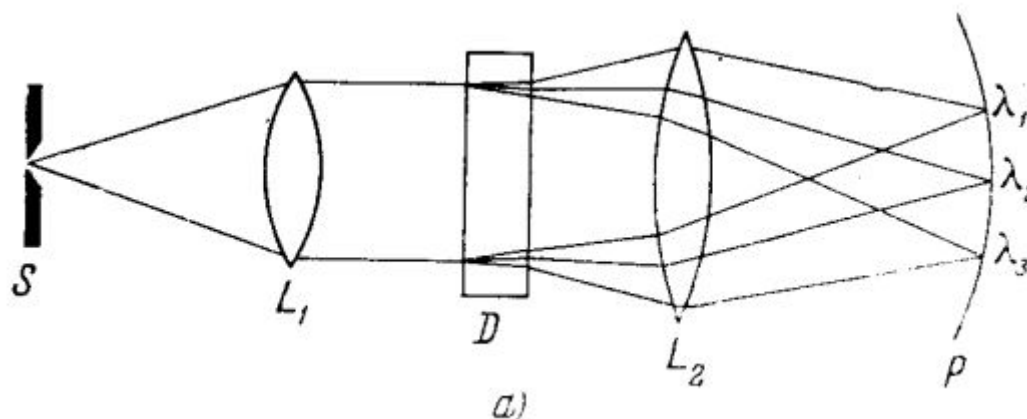


Рис. 1.4 - Принципова схема спектрального приладу [1]

Якщо у фокальній площині вихідного коліматора розташована вихідна щілина, через яку виходить тільки випромінювання в межах вузького спектрального діапазону для дослідження спектрів, то такий спектральний прилад називається **монохроматором**. [1]

Диспергуючі системи. Види диспергуючих систем

Спектральна призма – це перший пристрій, який було застосовано для розкладання світла у спектр. Спектральною призмою (далі – просто призма) називається багатогранник, виготовлений з прозорої речовини, який має значну дисперсію $\frac{\partial n}{\partial \lambda}$. При проходженні через призму пучок променів змінює свій напрямок, причому кут виходу променів залежить від довжини хвилі. [1]. Проходження променя крізь призму пов'язано з переломленням, яке залежить від матеріалу призми. Для виготовлення хороших призм використовують матеріал, прозорий в досліджуваній області спектра, такий що має велику дисперсію, досить високу оптичну однорідність та ізотропність. [1]. Задовільнити всім цим якостям важко,

тому для різних областей спектра застосовують спектральні призми, виготовлені з різного матеріалу. Так, для УФ-області спектра часто використовують природний кристалічний кварц. [1]. Для видимої області спектра основним матеріалом для виготовлення призм служить скло, як правило, тяжкий флінт (ТФ). Для інфрачервоної (ІЧ) області спектра призми виготовляють з кристалів хлористого натрію і хлористого кальцію. Криві дисперсії деяких оптичних матеріалів наведено на рис.1.6, де λ - довжина хвилі, n – показник переломлення середовища. [1].

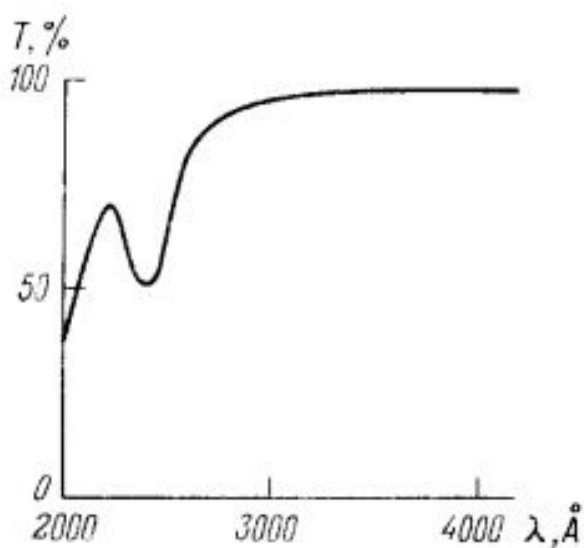


Рис. 1.5 – Пропускання плавленого кварца товщиною 1 см. [1].

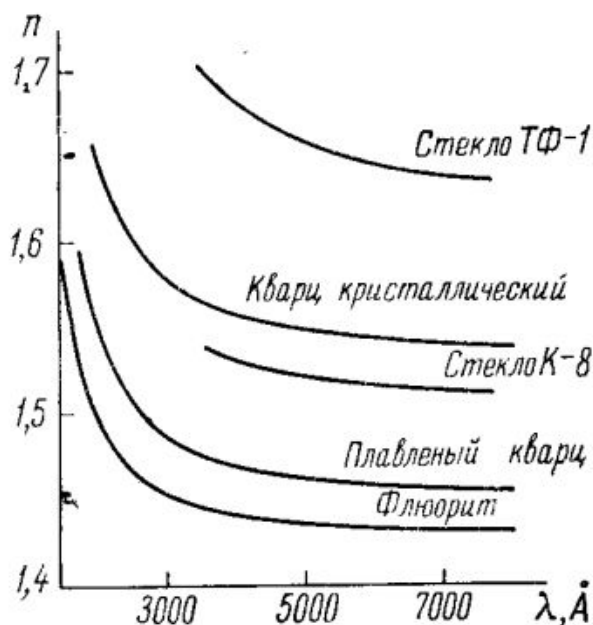


Рис. 1.6 – Криві дисперсії деяких оптичних матеріалів. [1].

Спектральні призми великих розмірів і великої дисперсії можна виготовити з призматичних прозорих посудин, залитих відповідними рідинами. Для УФ-області найбільш підходить дистильована вода, прозора до вакуумного ультрафіолету, для видимої області спектра – сірковуглець. [1]. Диспергуючим елементом в дифракційних спектральних приладах служить дифракційна ґратка. Вона являє собою оптичну поверхню з металу або прозорого матеріалу, на яку тим чи іншим способом нанесено штрихи, що визначеним засобом розбивають фронт падаючої світлової хвилі на когерентні пучки і змінюють їх амплітуду або фазу. [1]. У спектральних приладах в основному використовують дифракційні ґратки, в яких штрихи нарізаються спеціальними машинами з алмазними різцями. Ці ґратки мають рівновіддалені один від одного паралельні штрихи, форма перерізу яких визначається профілем ріжучої грані алмазного різця. Форма штриха може бути різною, але суттєвим є те, що елементи ґратки – штрихи, що повторюються через строго однакові проміжки, котрі називаються періодом дифракційної ґратки. [1].

Існують відбиваючі й прозорі дифракційні ґратки. На перших штрихи нанесені на дзеркальну (металеву), на других – прозору поверхню. [1]. У відбиваючих ґраток результуюча інтерференційна картина створюється у відбитому від ґраток випромінюванні, а в прозорих ґраток – у світлі, що проходить. [1]. У спектроскопії здобули розповсюдження відбиваючі дифракційні ґратки, в яких дифрагуючі перепони (штрихи) розподілені еквідистантно на плоскій або вгнутій поверхні. [1]. Штрихи мають вигляд канавок, нарізаних на скляній, металевій пластині або металевому шарі, що покриває діелектричну поверхню. [1]. При відбитті від такої поверхні виникає розкладання випромінювання у спектр. Дифракційні ґратки нарізають алмазними різцями за допомогою розподільних машин, для видимої частини спектра, як правило, на шарі алюмінію товщиною $0,2 \div 10$ мм, який напилено на скляну поверхню заготовки із прошарком хрому. [1]. Для дальньої УФ-області спектра дифракційні ґратки виготовляють безпосередньо на поверхні скла, для ІЧ- області спектра – на шарі дюралюмінію, нержавіючої сталі, міді, бронзи. Час нарізання одного штриха складає приблизно $3 \div 8$ секунд залежно від глибини й ширини штриха.[8] Чим глибше штрих, тим повільніше повинен бути рух різця. [1]. При нарізанні ґратки шириною 100 мм з 1200 мм штр і довжиною штриха 800 мм різець повинен пройти без заточки 11 км. Нарізання такої ґратки продовжується п'ять діб. [1]. Для УФ – області спектра використовують ґратки із 3600 мм штр , при цьому відстань між штрихами становить 0,28 мкм. У видимій області спектра використовують ґратки із 600 мм штр та 1200 мм штр . [1].

Для ІЧ - області спектра використовують ґратки, які мають два штрихи на міліметр.(2 мм штр). Такі ґратки називають ешелетами. [1].

1.3 Вибір компонентів

Для вдалого конструювання працездатного стенду на базі якого можна реалізувати інформативні досліді необхідно провести вибір компонентів.

Стенд складатиметься з наступних компонентів:

- джерело випромінювання
- конденсор
- монохроматор
- інтегруюча сфера
- спектро радіометр
- приймач випромінювання.

Також, в комплект мусять входити фільтри, стабілізатор (для забезпечення необхідної інтенсивності випромінювання), блок живлення (для живлення випромінювача), інтерфейс узгодження (своєрідний “міст” між користувачем та дослідною установкою, забезпечує безпосередній зв’язок оператора з усіма вузлами стенда та програмним забезпеченням).

Нижче проведено вибір компонентів для проектування стенду.

1.3.1 Вибір джерел випромінювання

Визначальні параметри й характеристики випромінювань стандартних ахроматичних джерел:

Тип Джерела	Колірна температура, К		Відтворювана освітленість
	По ГОСТ 7721—76	По рекомендаціям МКО	
A	2856 К ± 10	2855,6	Штучне освітлення
B	$\Phi_{\lambda}^B(\lambda)$ табульовано	4874	Прямесонячне світло
C	$\Phi_{\lambda}^C(\lambda)$ табульовано	6774	Розсіяне денне світло
D ₆₅	$\Phi_{\lambda}^D(\lambda)$ табульовано	6504	Усереднене денне світло
E	Джерело, спектральна щільність випромінювання якого в видимій області спектра постійна		

Табл. 1.1 “Визначальні параметри й характеристики випромінювань стандартних ахроматичних джерел:”

У лабораторних вимірюваннях стандартне джерело А реалізується за допомогою газонаповнених ламп накаливання з вольфрамовою ниткою; В, С і D₆₅—допомогою джерела А в комбінації зі стандартизованими рідинними або скляними світлофільтрами. [12].

Джерело Е –розрахункове рівно енергетичне джерело. При розробці вихідних розрахункових колориметричних систем колір випромінювання джерела Е приймають за базисний ахроматичний колір. [12].

При проектуванні стенду важливим буде вибір джерела випромінювання.

Існує велика кількість джерел випромінювання - лампи накаливання, газорозрядні лампи, світлодіоди, та ін. Для забезпечення дослідницьких/конструкторських потреб чи потреб споживача перевага віддається тому чи іншому типу джерела. Оскільки є необхідність у забезпеченні джерела випромінювання з більшою потужністю - використання діодів не є можливим, тому вибір зупиняється на лампах розжарювання. В даному сегменті випромінювачів є наступні підгрупи:

- лампи розжарювання загального призначення
- лампи розжарювання спеціальні
- лампи розжарювання для транспорту
- лампи розжарювання кварцеві галогенні.

У групі ламп розжарювання спеціальних наші потреби влаштовує наступний тип ламп - лампи розжарювання метрологічні.

Лампи розжарювання “метрологічні” призначені для зберігання і передачі розмірів світлових потоків і сил світла (світловимірювальні) і температурних одиниць (температурні), а також для атестації і перевірки контрольно-вимірювальних установок і виробів. [12].

Оскільки вищезгаданий стенд буде використовуватись для дослідження спектральних характеристик камер - доцільно використовувати в досліді спеціальну лампу “СИРШ 8,5-200-1 E40” , де значення маркування несе наступну паспортну інформацію:

Напруга - 8,5 В

Потужність - 200 Вт

Розмір цоколя - E40



рис 1.7“Лампа “СИРШ 8,5-200-1 E40”” [12].

Колориметрична система RGB

Аддитивна триколірна колориметрична система R, G, B уведена Британською Національною фізичною лабораторією й в 1931 р. прийнята МКО в якості вихідної для розрахунку інших стандартних колориметричних систем . Як основні кольори використовуються кольори трьох монохроматичних випромінювань. Базисний колір - колір випромінювання джерела E. [12].

Одиничні основні кольори [R], [G], [B];

Координати кольору - R ,G, B;

Координати кольоровості - r, g, b;

Ординати функцій додавання r (l), g (l), b (l)

Колірне рівняння для довільного кольору D:

$$\vec{D} = D[\vec{D}] = R[\vec{R}] + G[\vec{G}] + B[\vec{B}]$$

Функції додавання $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ нормовані так, що $\bar{y}(\lambda)$ збігається з функцією відносної спектральної ефективності $V(\lambda)$. (мал.4.4)

Векторні колірні рівняння, що зв'язують одиничні основні кольори $\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}$ із кольорами $\dot{R}, \dot{G}, \dot{B}$.

$$\vec{X} = 0.4185 [\vec{R}] - 0.0912 [\vec{G}] + 0.0009 [\vec{B}];$$

$$\vec{Y} = -0.1587 [\vec{R}] + 0.2524 [\vec{G}] - 0.0025 [\vec{B}];$$

$$\vec{Z} = -0.0828 [\vec{R}] + 0.0157 [\vec{G}] + 0.1786 [\vec{B}].$$

Скалярні числові рівняння, що зв'язують координати довільного кольору $\vec{N} (X_N, Y_N, Z_N)$ у системі $\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}$ з координатами того ж кольору (R_N, G_N, B_N) у системі $\dot{R}, \dot{G}, \dot{B}$.

$$X_N = 2,7687 R_N + 1,7516 G_N + 1,1301 B_N$$

$$Y_N = 1,0000 R_N + 4,5904 G_N + 0,0600 B_N$$

$$Z_N = 0,0000 R_N + 0,0565 G_N + 5,5939 B_N$$

Яскравість одиничного основного кольору $\vec{Y} L_{\text{vy}} \approx 680 \text{ кд/м}^2$. Функції додавання $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ приводяться в довідкових таблицях.

Розрахунок координат кольору по вимірюваних спектральних характеристиках випромінювання: для самосвітних об'єктів і по спектральних характеристиках коефіцієнтів відбиття $\rho(\lambda)$ і пропускання $\tau(\lambda)$ несамосвітних об'єктів :

$$\begin{aligned} X &= k \int_0^{\infty} \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_0^{\infty} \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_0^{\infty} \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (4.7)$$

де $\phi(\lambda)$ - відносний спектральний розподіл енергії випромінювання, що виходить від об'єкта .

Для самосвітних об'єктів

$$\phi(\lambda) = \dot{L}(\lambda)$$

Для об'єктів , що пропускають світло

$$\phi(\lambda) = \dot{L}(\lambda) \tau(\lambda)$$

Для об'єктів, що відбивають

$$\phi(\lambda) = \dot{L}(\lambda) \rho(\lambda),$$

$$\text{де } \dot{L}(\lambda) = \frac{L_c(\lambda)}{L_c(\lambda)_{\text{max}}} - \text{відносний розподіл спектральної щільності}$$

енергетичної яскравості джерела випромінювання.

Множник k для несамосвітних об'єктів у системі $\vec{X} \vec{Y} \vec{Z}$

$$K = \frac{100}{\int_0^{\infty} \dot{L}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (4.8)$$

Введення множника дозволяє виразити координати кольору несамосвітного об'єкта (ламбертовського розсіювача або світлофільтра, що не розсіює) у масштабі, у якому координата кольору $Y = 100$. У цьому випадку нормування яскравість кольору становить 100 умовних одиниць .

Крім вихідної $(\vec{R} \vec{G} \vec{B})$ і стандартної міжнародної $(\vec{X} \vec{Y} \vec{Z})$ колориметричних систем в окремих галузях науки й техніки застосовуються інші триколірні колориметричні системи, більш зручні для рішення специфічних завдань.

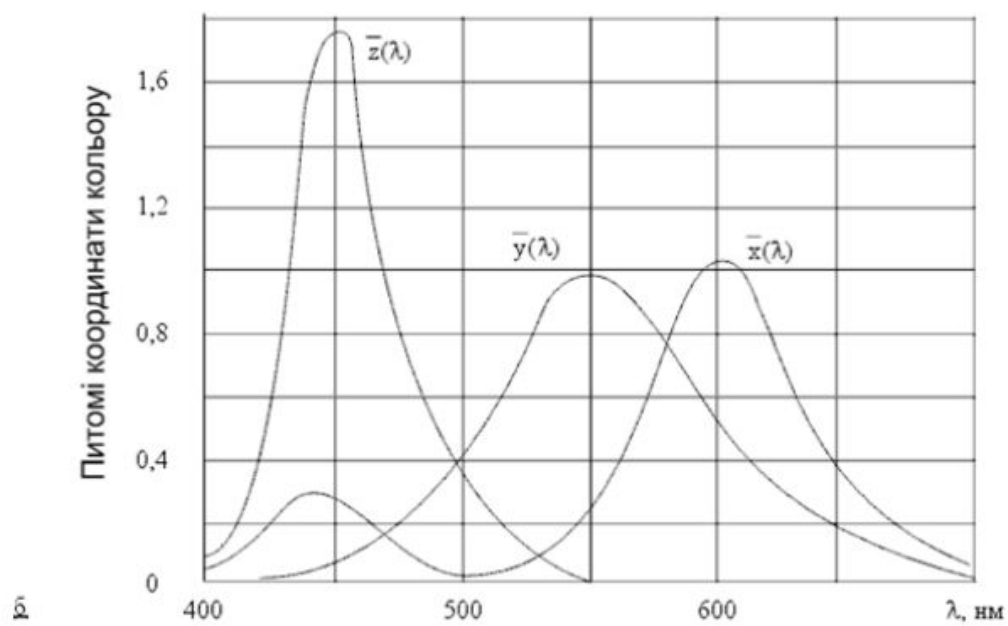
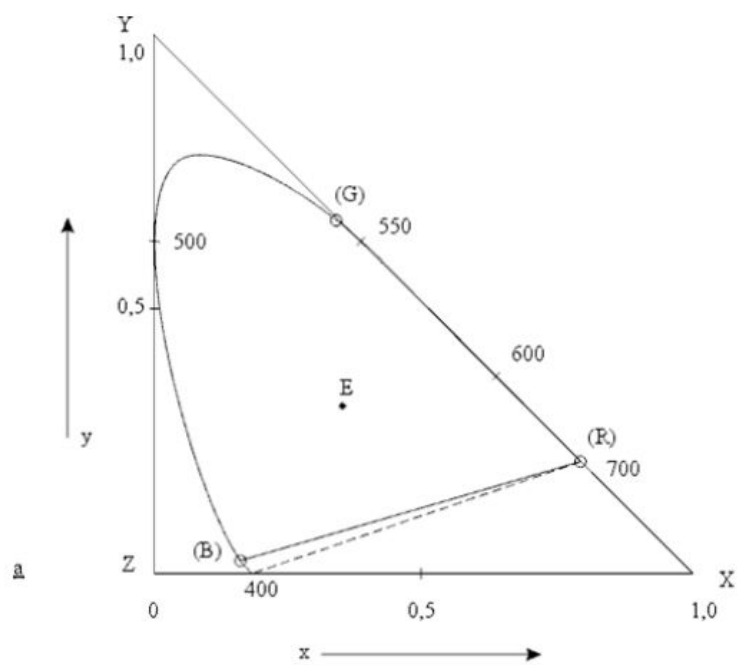


рис. 1.8 “Колориметрична система” [11].

1.3.2 Монохроматори

Монохроматор є найбільш розповсюдженим приладом, який являється основною частиною різноманітних спектрометрів, спектрофотометрів та інших спектральних приладів. [1].

Монохроматор - оптичний прилад, який призначений для виділення монохроматичного випромінювання у вузькому діапазоні довжин хвиль оптичного спектру. Принцип дії заснований на дисперсії світла. В якості диспергуючого елемента використовується дисперсійні призми або дифракційні ґратки. [1].

Будова монохроматора

Оптичні монохроматори виділяють хвилі певної частоти безперервного спектра. У монохроматорах реалізуються різні шляхи ходу променя, але всі вони укладаються в схему, наведену на рис. 1.9.

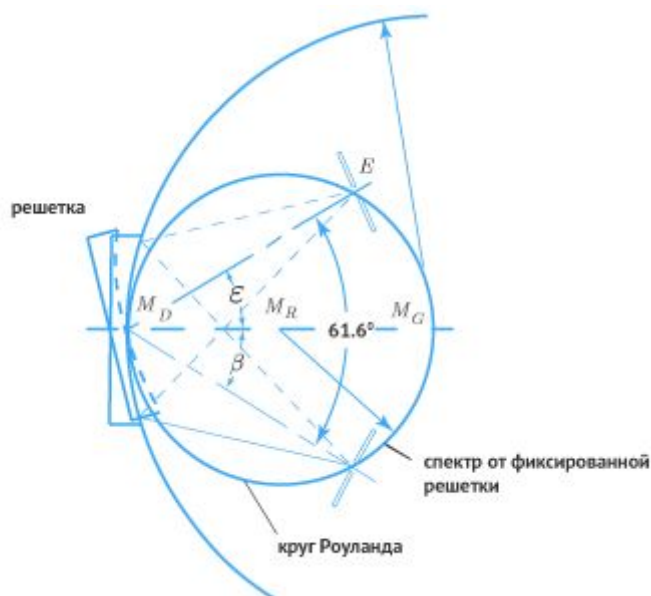


Рис. 1.9 “шляхи ходу променя у монохроматорах”[1].

Круг Роуланда визначає властивості зображення, створеного сферичною увігнутою дифракційною ґраткою. Його діаметр відповідає радіусу кривизни цієї ґратки. Якщо зображення вхідної щілини E монохроматора

локалізується в будь-якому місці круга Роуланда, то і спектр також буде розміщуватися тільки на цьому крузі. Крім того, показана голографічна решітка Сейя - Наміока в обертовому пристосуванні, що вимагає фіксованого кута між вхідний і вихідний щілинами (в даному випадку це $61,6^\circ$) [1].

Так званий круг Роуланда визначає характеристики зображення за допомогою увігнутої дифракційної ґратки. Якщо зображення вхідної щілини монохроматора локалізується на крузі Роуланда, то і диспергований спектр також буде розміщуватися на цьому крузі. Якщо, згідно з Сейя- Наміока, ґратка обертається, як показано на рисунку, то вхідна і вихідна щілини залишаються зафіксованими. [1].

Ця особливість дозволяє конструювати прості і недорогі монохроматори з високою світлопровідністю. При цьому можна використовувати лише кілька оптичних компонентів і отримати незначний рівень розсіяного світла. [14]. Кут між вхідною і вихідною щілиною вказується виробником (а визначається він голографічними методами), наприклад, для ґратки на рис. ---- він становить $61,6^\circ$. Його потрібно дуже ретельно витримувати для запобігання розфокусування. [14].

Монохроматор Черні-Тернера

Досить часто застосовуються монохроматори системи Черні-Тернера (див. Рис. 1.5), в яких плоска дифракційна ґратка обертається, а зображення вхідної щілини за допомогою двох параболічних дзеркал без спотворень формується на вихідній щілині. Перевагою даного монохроматора є відсутність аберацій типу кома. [14].

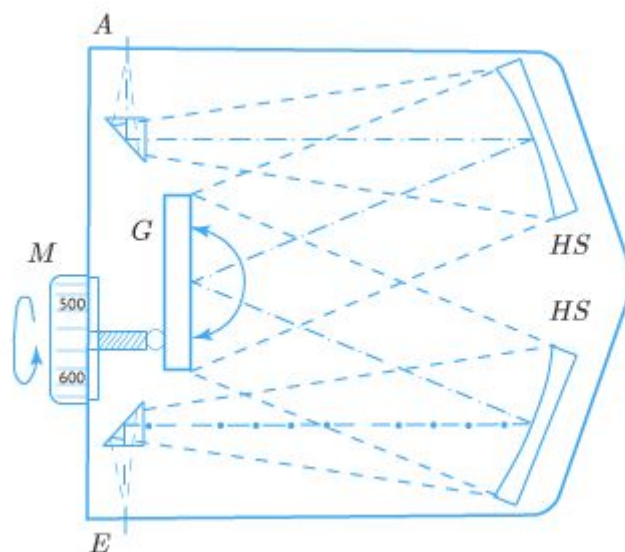


Рис.1.10 “схема монохроматора Черні-Тернера” [1].

Часто застосовується конструкція монохроматора Черні-Тернера з плоскими ґратками і механічною синус-корекцією. Увігнуті дзеркала (HS) забезпечують симетричне зображення вхідної щілини (E) на вихідній щілині (A) [1].

Якщо умова синусів не виконується, виходить спотворене зображення, яке лежить в більшій частині поза оптичною віссю. Це явище називається комою. [1].

Замість дзеркальних поверхонь в монохроматорах у якості відхиляючих промінь елементів іноді використовуються відбиваючі призми. Їх дія заснована на повному відбитті, що більш ефективно в більшому діапазоні довжин хвиль в порівнянні з дзеркалами. [1].

Схема Еберта

Заміна двох фокусуєчих дзеркал одним більшого розміру, що є доцільним при конструюванні монохроматорів невеликих розмірів. [1].

Конструкція монохроматорів відзначається великою різноманітністю. У наш час прилади із спектральними призмами та лінзовою оптикою все

більше витісняються приладами з дифракційними ґратками і дзеркальними об'єктивами, що пов'язано з більшою світлосилою дифракційних приладів. [1]. Крім того основні властивості дифракційних спектральних приладів мають слабку залежність від довжини хвилі, що дозволяє використовувати один прилад у широкій області спектра. Однак у видимій області спектра призменні спектральні прилади широко використовуються на практиці й сьогодні. [1].

Призменні монохроматори з лінзовою оптикою

Найбільш розповсюдженим приладом такого класу є монохроматор УМ-2, призначений для видимої області спектра (рис.1.11). [1]. Прилад має дві змінні призми Аббе

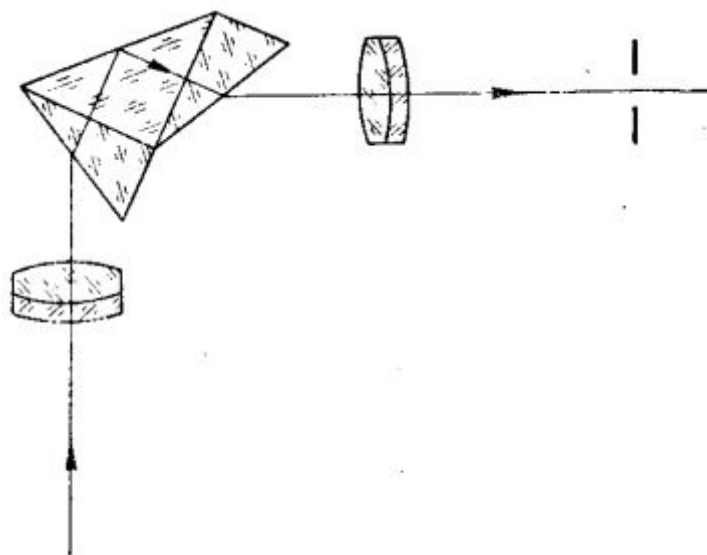


Рис. 1.11– Оптична схема монохроматора УМ-2 [1].

Призма обертається за допомогою гвинта, на барабані якого нанесені поділки у вільних одиницях, так що прилад потребує градування, яке полягає в точному визначенні відповідності довжини хвилі й оберту барабана у градусах. [1]. Градування потрібно виконувати в якомога

більшому числі точок.[1] Для цих цілей використовують добре вивчені спектри, наприклад гелію, водню, ртуті, срібла, міді тощо. [1].

Від ртутної лампи використовують лінії :

- 579,1 – 577,0 – жовтий
- 546,1 – зелений
- 491,6 – блакитний
- 435,8 – синій
- 407,8 – 404,7 – фіолетовий. [1].

Для градування вихідну щілину монохроматора замінюють окуляром і визначаючи зорovo відповідність визначеного кольору притаманній йому довжині хвилі (λ) та оберту барабана n_0 . [1]. На підставі залежності $n_0 = f(\lambda)$, будують градувальний графік. Градування може бути як візуальним шляхом спостереження ліній в площині вихідної щілини через окуляр, так і фотоелектричним, коли правильна установка лінії знаходиться за максимальним значенням фотоструму. [1]. Другий спосіб точніший і після візуального градирування, який полегшує орієнтацію, раціонально проводити фотоелектричне. В якості приймача випромінювання, як правило, застосовують фотоелектронний помножувач (ФЕП), тому що виділені монохроматором потоки випромінювання досить малі. [1].

Призменні монохроматори із дзеркальною оптикою

На рис. 1.12 наведено одну з розповсюджених принципових схем призменних монохроматорів із дзеркальною оптикою ЗМР-3. [1]. Призма такого приладу змінна – кварцева або скляна з переломлюючим кутом 560 і гіпотенузою 64 мм. [1].Фокусуючою оптикою служить параболічне алюмінієве дзеркало з фокусною відстанню 270 мм. Плоске дзеркало

обертається гвинтом з барабаном, на якому нанесено шкалу. Прилад також потребує градуювання. [1].

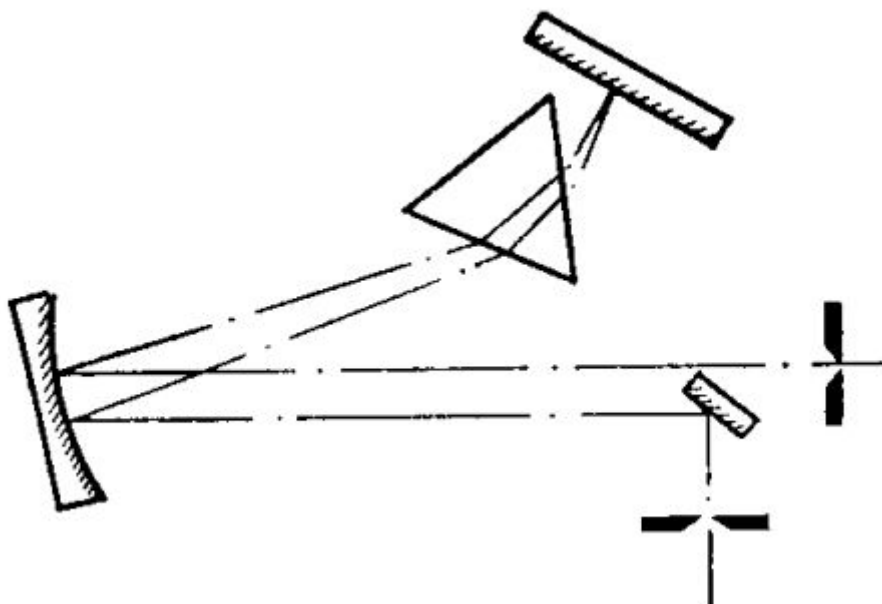


Рис. 1.12 – Оптична схема монохроматора ЗМР-3 [1].

Дифракційні монохроматори

Спектральні прилади з плоскими дифракційними ґратками звичайно мають дзеркальні об'єктиви, тому можуть працювати в широкій області спектра, особливо при наявності змінних ґраток з різним числом штрихів на 1 мм. [1]. Роздільна здатність і світлосила таких приладів мають найвищу для щілинних приладів величину, що зумовлено, по-перше: досить великими геометричними розмірами плоских дифракційних ґраток, по-друге, кутова дисперсія звичайно перевищує кутову дисперсію призм. [13]. Конструктивне виконання приладів з плоскими дифракційними ґратками досить різноманітне. [13]. Для приладів з великою лінійною дисперсією використовується схема Еберта (рис. 1.13). [1].

Об'єктивами в цій схемі служать різні частини одного і того ж вгнутого дзеркала.[13]. Така схема застосовується для довгофокусних дифракційних спектрографів. Фокусна відстань такого приладу становить 4 м. [12].

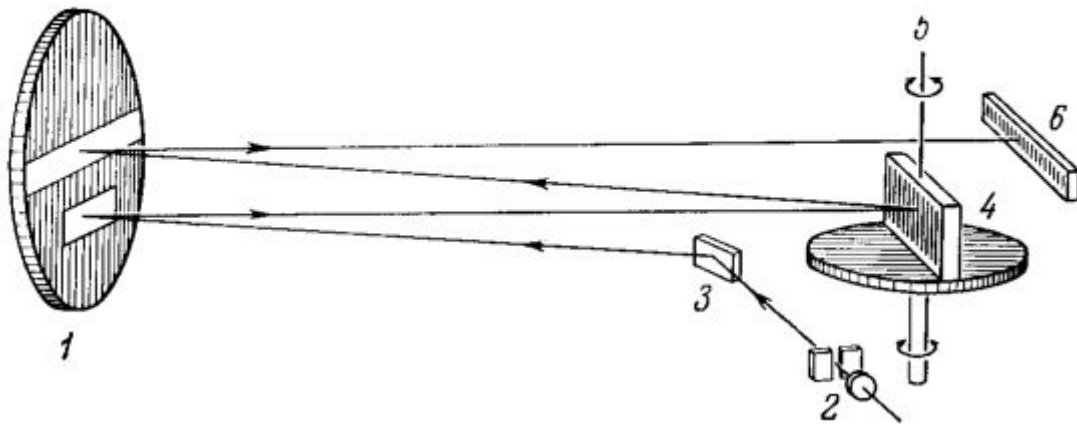


Рис. 1.13– Схема Еберта [1].

У більш короткофокусних світлосильних приладах віддають перевагу схемі Черні-Турнера (рис.1.14), яка має роздільні коліматорне і камерне дзеркало. За такою схемою зібрано прилад МДР-2. Об'єктивами служать сферичні дзеркала з фокусом 400 мм. [1].

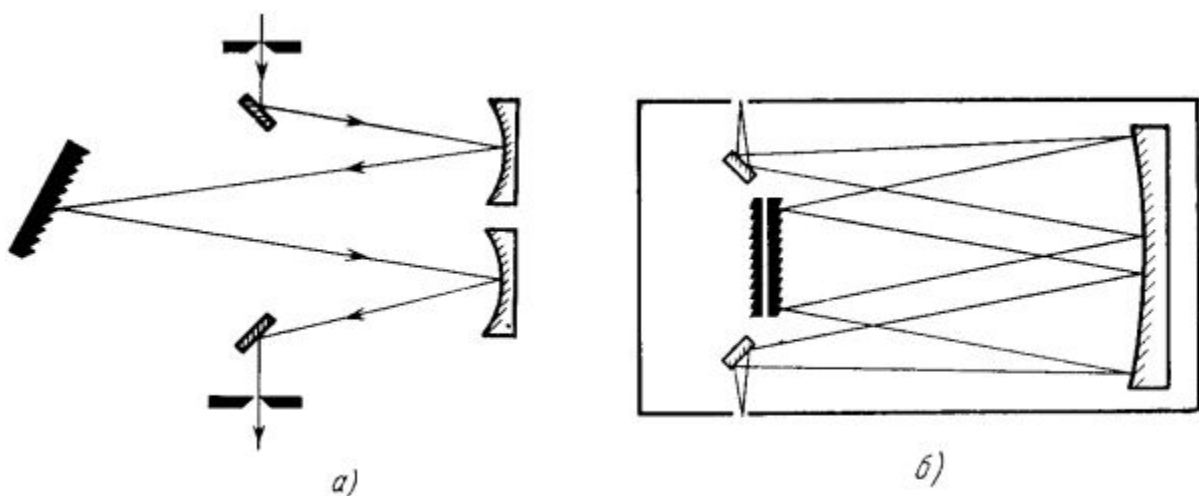


Рис. 1.14 – Оптична схема монохроматорів МДР-2 (а) і фірми Jarrel Ash (б) [1].

Функції дифракційних ґраток і об'єктивів можуть бути об'єднані в одному елементі – ґратці, яка нарізана на вгнутому дзеркалі. Їх виготовлення не завдає особливих труднощів. [1]. Вігнута ґратка володіє здатністю фокусувати дифрагований спектр на околі з діаметром, рівним радіусу кривизни дзеркала ґратки, якщо сама ґратка й вхідна щілина знаходяться на цьому околі. Цей окіл має назву круга Роланда. [1].

Установка ввігнутої ґратки за схемою Пашена-Рунге показана на рис. 1.15. [1].

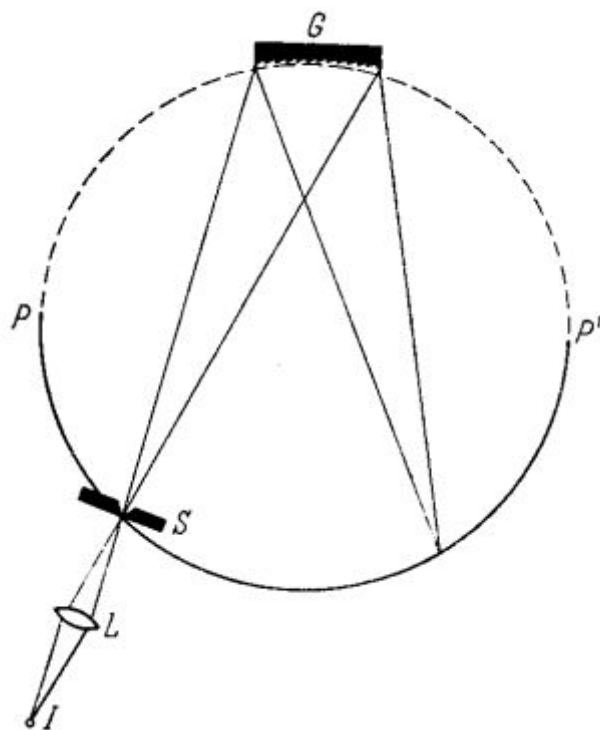


Рис. 1.15 – Схема установки ввігнутої ґратки по Пашену-Рунге: I – джерело світла, L – лінза, S- щілина, G- ґратка, PP1 – фокальна поверхня [1].

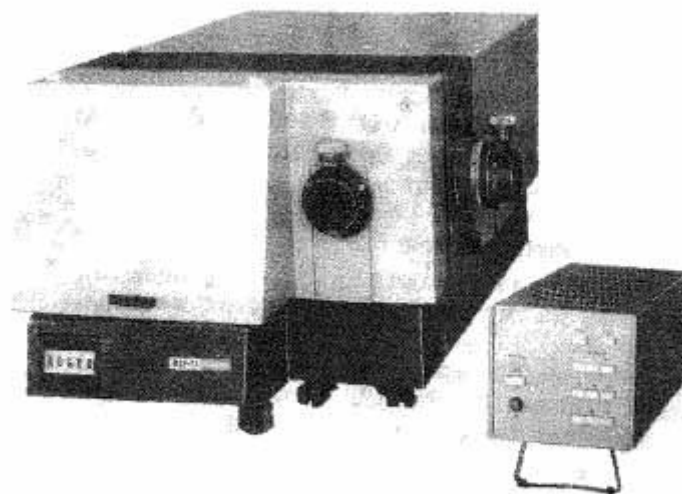


Рис. 1.16 “Монохроматор МДР-23” [1].

Опис:

Монохроматор МДР-23 призначений для виділення монохроматичного випромінювання в широкому спектральному діапазоні. Монохроматор використовується в науково-дослідних і промислових лабораторіях в різних спектроскопічних установках при проведенні досліджень спектральних характеристик джерел і приймачів випромінювання. [1]. Даний монохроматор використовується при вивченні оптичних властивостей кристалів та інших речовин і матеріалів в ультрафіолетовій, видимій та ближній інфрачервоній областях спектру. [1].

Монохроматор МДР-23 побудований за асиметричною схемою Фасті зі сферичними дзеркальними об'єктивами. [1].

Оптична схема монохроматора МДР-23 представлена на рис. 1.17. [1].

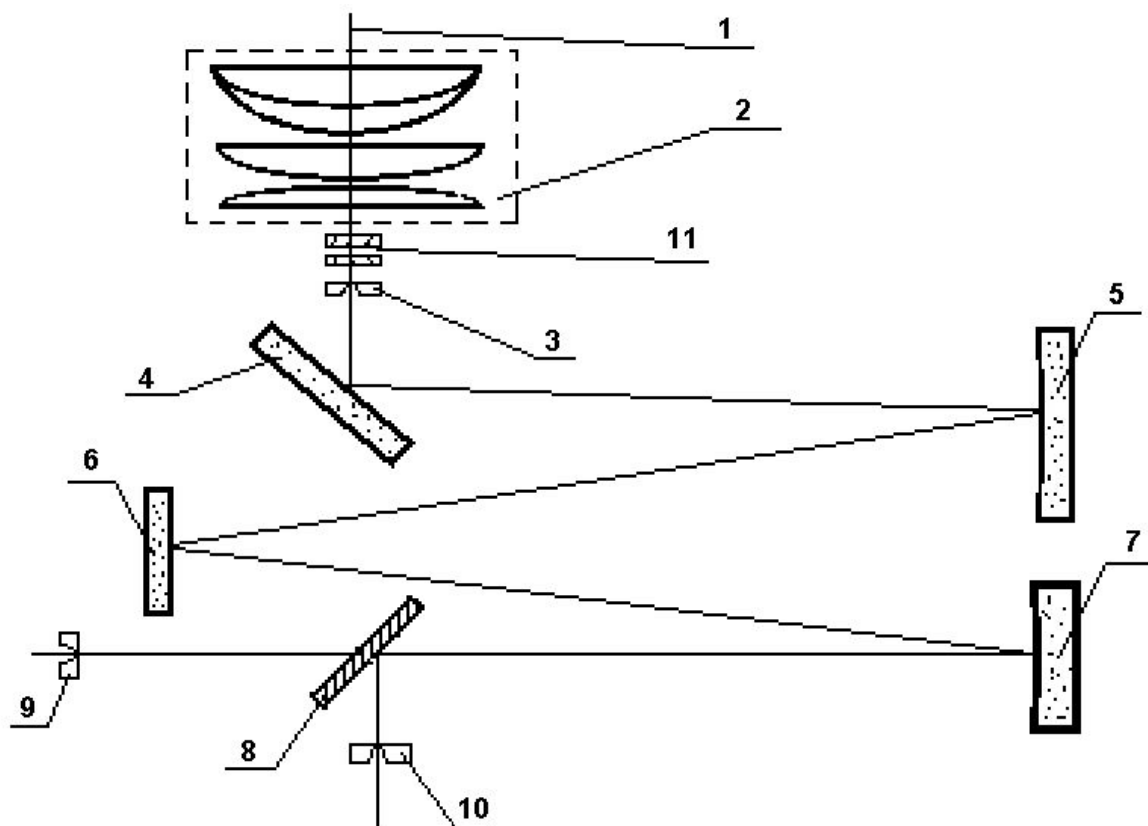


Рис. 1.17 “Оптическая схема монохроматора “МДР-23”” [1].

Джерело світла 1 через конденсор 2 освітлює вхідну щілину 3 монохроматора. [9] Поворотне дзеркало 4 і дзеркальний сферичний об'єктив 5, в фокальній площині якого розташована вхідна щілина 3, направляють паралельний пучок на дифракційну ґратку 6. Після дифракції паралельний пучок фокусується дзеркальним сферичним об'єктивом 7 на вихідну щілину 10. [9]. В залежності від положення поворотного дзеркала 8 пучок світла потрапляє або на одну щілину 9, або на іншу щілину 10. У разі необхідності використання одночасно обох вихідних щілин в пучок вводиться дзеркало, зрізане по висоті. [9]. Для проектування джерела світла на щілину монохроматора використовують конденсор.

Для зрізання вищих порядків спектра, що накладаються на робочу спектральну область використовують світлофільтри 11. Робоча область спектра, в якій використовується кожний світлофільтр, вказана на його оправі. [9].

Вхідні і дві вихідні щілини монохроматора - комбіновані з подвійним розкриттям, точність відліку при розкритті від 0 до 0,02 - 0,001 мм, при розкритті від 0,2 до 2,2 мм - 0,01 мм. відлік ширини розкриття вхідної щілини здійснюється за шкалою барабанчика, вихідних щілин за шкалами барабанчиков з іншого боку. [9].

Ножі щілин виготовлені з радіусом кривизни 130,3 і 140,6 мм, відповідно для вхідних і вихідних щілин. Для фокусування вхідну щілину і вихідну щілину можна переміщати вздовж оптичної осі.[9] Переміщення вхідної щілини здійснюється обертанням кільця, при цьому відлік знімається за шкалою, а вихідний щілини обертанням кільця, при цьому відлік знімається за шкалою. [9].

В насадки надівається на вхідну щілину можуть бути встановлені діафрагма з фігурними вирізами, що обмежує висоту щілини, і змінні світлофільтри. [1]. За вхідною щілиною знаходиться затвор, включення якого здійснюється рукояткою. Включення дзеркала, що направляє світло на вихідну щілину або введення в світловий пучок дзеркала, зрізаного по висоті здійснюється рукояткою. [1]. При використанні тільки однієї з вихідних щілин друга повинна бути закрита кришкою. Довжина хвилі випромінювання проходить через вихідну щілину монохроматора, визначається за лічильником, одне оцифрованное розподіл якого відповідає 0,1 нм для ґратки 1200 штрихів на міліметр, а одне поділ не оцифрованої шкали відповідає 0,025 нм. [1]. При роботі з ґратками 600

штрихів на міліметр показання лічильника слід множити на два, при роботі з ґратками 300 штрихів на міліметр слід множити на чотири.[8]

На кронштейні синусового механізму розташований вузол реперного пристрою. Рух від гвинта синусового механізму через шестерні передається на диск з вирізами, які забезпечують нанесення на запис реперних міток через 1 або через 10 нм. [1].

Автоматична розгортка спектру здійснюється від крокової двигуна. значення швидкостей розгортки спектра для різних ґраток наведені в таблиці 1.2. [14].

Ряд и номер кнопки переключателя	Скоростная развертка спектра, нанометры в минуту		
	для решетки 1200штрихов на миллиметр	для решетки 600 штрихов на миллиметр	для решетки 300 штрихов на миллиметр
1-1	0,2	0,4	0,8
1-2	0,4	0,8	1,6
1-3	0,8	1,6	3,2
1-4	1,6	3,2	6,4
1-5	3,2	6,4	12,8
П-1	5,0	10,0	20,0
П-2	10,0	20,0	40,0
П-3	20,0	40,0	80,0
П-4	40,0	80,0	160,0
П-5	80,0	160,0	320,0

табл. 1.2 “значення швидкостей розгортки спектра для різних ґраток”. [14].

Максимальна швидкість розгортки спектра призначена для швидкого повороту дифракційної ґратки при поверненні ґратки в початкове положення. [14]. Для відключення крокової двигуна на кінцях робочого діапазону кожної дифракційної ґратки в монохроматорі передбачені кінцеві вимикачі. Монохроматор підключається до блоку управління через роз'єм, клемка служить для заземлення монохроматора. Всі елементи електричної схеми змонтовані в корпусі, закритому кришкою. [14].

На передній панелі блоку управління розташовані кнопка включення блоку, сигнальна лампа, запобіжник, блок кнопоквих перемикачів вибору швидкостей розгортки спектра, блок кнопоквих перемикачів для включення I або II ряду швидкостей розгортки і блок кнопоквих перемикачів для прямого і зворотного ходу розгортки. Кнопка дозволяє змінити ціну поділки реперною мітки з 1 на 10 нм. [2]. При включенні кнопки мітки наносяться через 10 нанометрів, при відключенні через 1 нанометр.

Підключення блоку управління до мережі змінного струму здійснюється за допомогою вилки. кабель з роз'ємом служить для підключення блоку до монохроматором. Всі вузли монохроматора закриті кожухом. [1].

Під вхідною щілиною монохроматора закріплюється рейок довгою 1000 міліметрів для установки освітлювальної системи, під вихідними щілинами рейки довжиною 400 міліметрів для установки приймачів випромінювання. [1].

Рейки вводяться в направляючі, притискаються до наполегливої гвинта, закріплюються гвинтом і контр гайкою. Регулювання положення рейок по висоті здійснюється за допомогою болтів, розташованих на вільних кінцях рейок. [1].

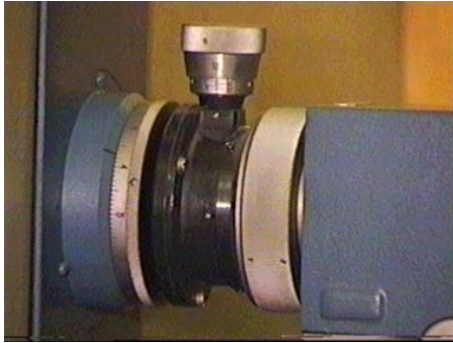
Монохроматор встановлений на три опори, регульовані по висоті за допомогою гвинтів.

Технічні дані монохроматора МДР-23

Дифракційна ґратка для видимого діапазону 1200-2:



Число штрихів на (мм)	1200
Робоча область (ангстрем)	3500-10000
Зворотня лінійна дисперсія (нм / мм)	1,3



Щілини:

Межі розкриття (мм) від 0 до 2,2

Точність відліку (мм):

При розкритті від 0 до 0,2 0,001

При розкритті від 0,2 до 2,2 0,01



Шкала:

Монохроматор оснащений шкалою, яка показує поточну довжину хвилі в ангстремах.

1.3.3 Конденсор

Конденсор - пристрій, що слугує для збору променів з джерела випромінювання з подальшим спрямуванням на об'єкт, що розглядають або проєціюють. Являє собою короткофокусну лінзу, дзеркало або систему лінз чи дзеркал. Конденсор є складовою частиною діаскопів, фотозбільшувачів, мікроскопів, кінопроекційних апаратів тощо. [11]

Для фокусування променів, що надходять з джерела випромінювання на вхідній щілині монохроматора для подальшого отримання її зображення наявність конденсора є обов'язковою.

Основні оптичні характеристики конденсора:

- Фокусна відстань;
- Лінійне збільшення β ;
- Кут охоплення σ – плоский кут в головному перерізі, який відповідає тілесному куту охоплення оптичної системи. Чим більший кут охоплення, тим більше світлового потоку використовується від джерела;
- Кут збіжності ω' – плоский кут в просторі зображення;
- Відносний отвір $1:K$.

У випадку якщо конденсор не являється ахроматичним, то фокусування його в різних областях спектру вимагає зміни відстані між вхідною щілиною і конденсором і між конденсором і джерелом світла. [11].

Розрахункові значення цих відстаней і збільшення, яке отримується при цьому, вказані в таблиці [14].

Длина вол- ны, нм	Расстояние от ис- точника света до первой поверхности конденсора, мм	Расстояние от по- следней поверхно- сти конденсора до входной щели, мм	Увеличение
200	52.8	286.3	3.9
330	68.8	270.3	3
400	71.9	267.2	2.9
600	76.0	263.1	2.7
800	77.7	261.4	2.6
1000	78.8	260.3	2.6
1300	80.1	259.0	2.5
1700	82.0	257.1	2.5
2000	83.8	255.3	2.4

Табл. 1.3 “Розрахунок відстаней і збільшення”[14].

Для вирішення даного питання можна реалізувати на стенді привід, що буде регулювати відстань між джерелом випромінювання та першою поверхнею конденсора.

1.4 Висновки до розділу

Аналізуючи вищевказані фактори можна резумувати наступне: для отримання зображення щілини на матриці камери необхідно використати у схемі конденсор. Для більшої точності вимірювання, забезпечення вузької області досліджуваних довжин хвиль (зменшення рівня розсіяного світла) необхідно застосувати схему з подвоєнням дисперсії. Її можна реалізувати на базі двох дифракційних монохроматорів. Також, доцільним буде провести додатковий аналіз для вибору потужності джерела випромінювання, наявності додаткових елементів.

Розділ 2

Фізико-математична модель

2.1 Параметри спектральних приладів. Розрахунок параметрів системи

Всі спектральні прилади незалежно від застосованої диспергуючої системи (спектральна призма або дифракційна ґратка) мають низку загальних властивостей. У першу чергу всі спектральні прилади характеризуються кутовою і лінійною дисперсією, реальною світлосилою, практичною роздільною здатністю, областю дисперсії. Кутова і лінійна дисперсії показують, як будуть розходитися промені з різними довжинами хвиль. [1] У призмених спектральних приладах кут відхилення променів з різними довжинами хвиль характеризується значенням показника заломлення для даної довжини хвилі. [1]

Лінійна дисперсія ДІ визначається відношенням відстані у фокальній площині між двома близько розташованими спектральними лініями до різниці довжин хвиль між цими лініями (рис. 2.1):

$$ДІ = \frac{\partial \ell}{\partial \lambda}; \quad [1]$$

де: $\partial \ell$ – відстань у фокальній площині між двома близько розташованими спектральними лініями, мм; $\partial \lambda$ – різниці довжин хвиль між двома близько розташованими спектральними лініями, нм. [1] Таким чином лінійна дисперсія ДІ визначає лінійну відстань Δl між центрами монохроматичних зображень вхідної щілини відстоюючи на інтервал $\Delta \lambda$. [1]

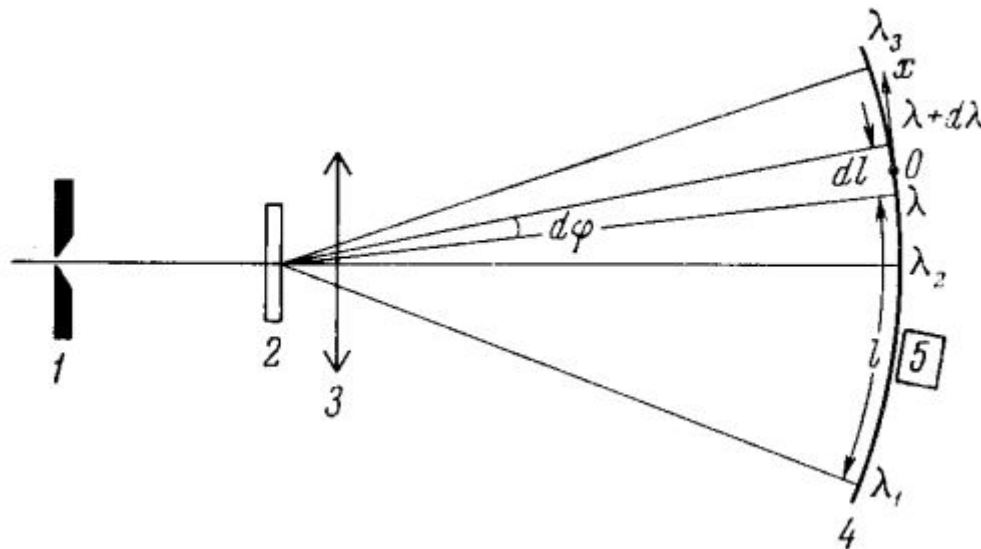


Рис. 2.1 – Принципова схема визначення лінійної і кутової дисперсії спектрального приладу [1]

Кутова дисперсія спектрального приладу визначається відношенням різниці кутів відхилення двох близько розташованих спектральних ліній до різниці довжин хвиль між цими лініями:

$$D\alpha = \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda}; \quad [1]$$

де $\partial \varphi$ – різниці кутів відхилення двох близько розташованих спектральних ліній, рад. $\partial \lambda$ - різниці довжин хвиль між двома близько розташованими спектральними лініями, нм. [1] Кутова дисперсія спектрального приладу визначає кут, на який диспергуюча система розділяє світлові пучки близьких довжин хвиль (рис. 2.1) [1] .

Областю дисперсії спектрального приладу називають таку область довжин хвиль у спектрі, де існує однозначний зв'язок між довжиною хвилі спектральної лінії та її місцем у спектрі. Для збільшення дисперсії застосовуються призми складних форм (рис.2.5, а, в), призми складного складу з різними показниками переломлення матеріалів (рис.2.1, б), автоколімаційні системи, які служать для проходження пучка променів

через диспергуючу систему декілька разів, що збільшує дисперсію і, відповідно, відстань між близько розташованими лініями у спектрі (рис.2.2). [1]

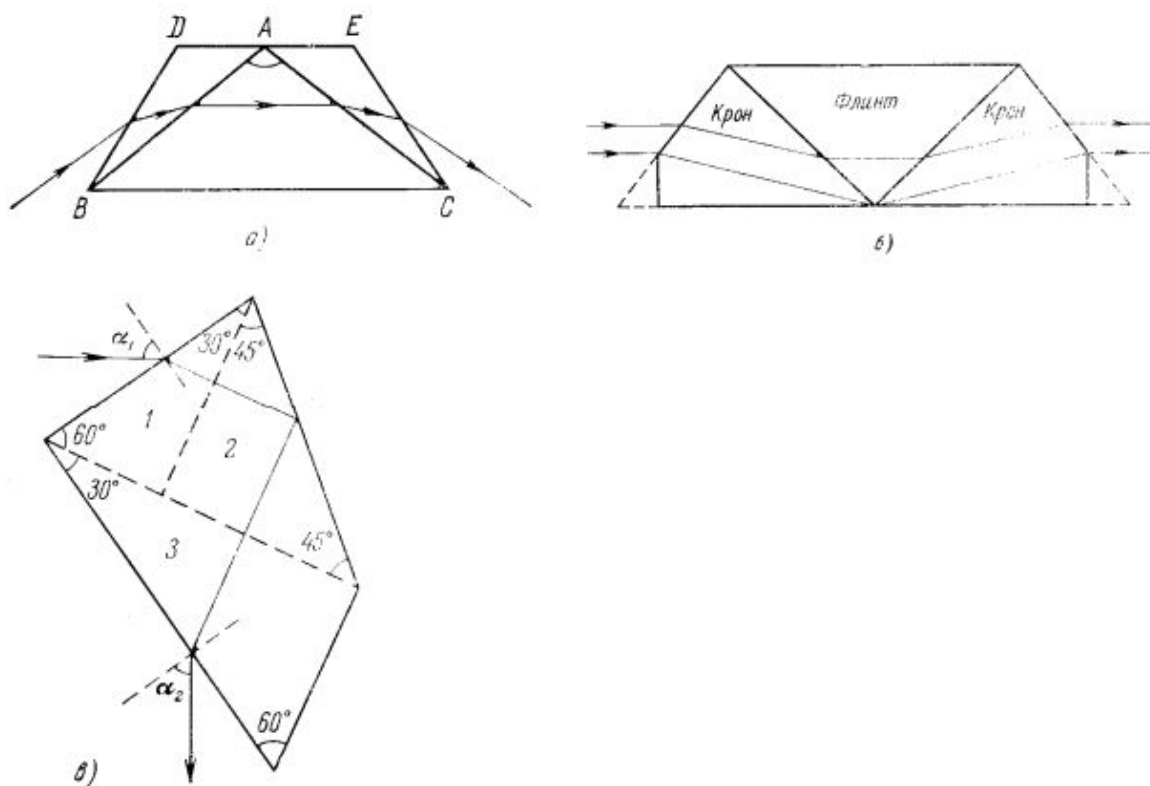


Рис. 2.2 – Призми Резерфорда (а), Амачі (б), призма постійного відхилення (в). [1].

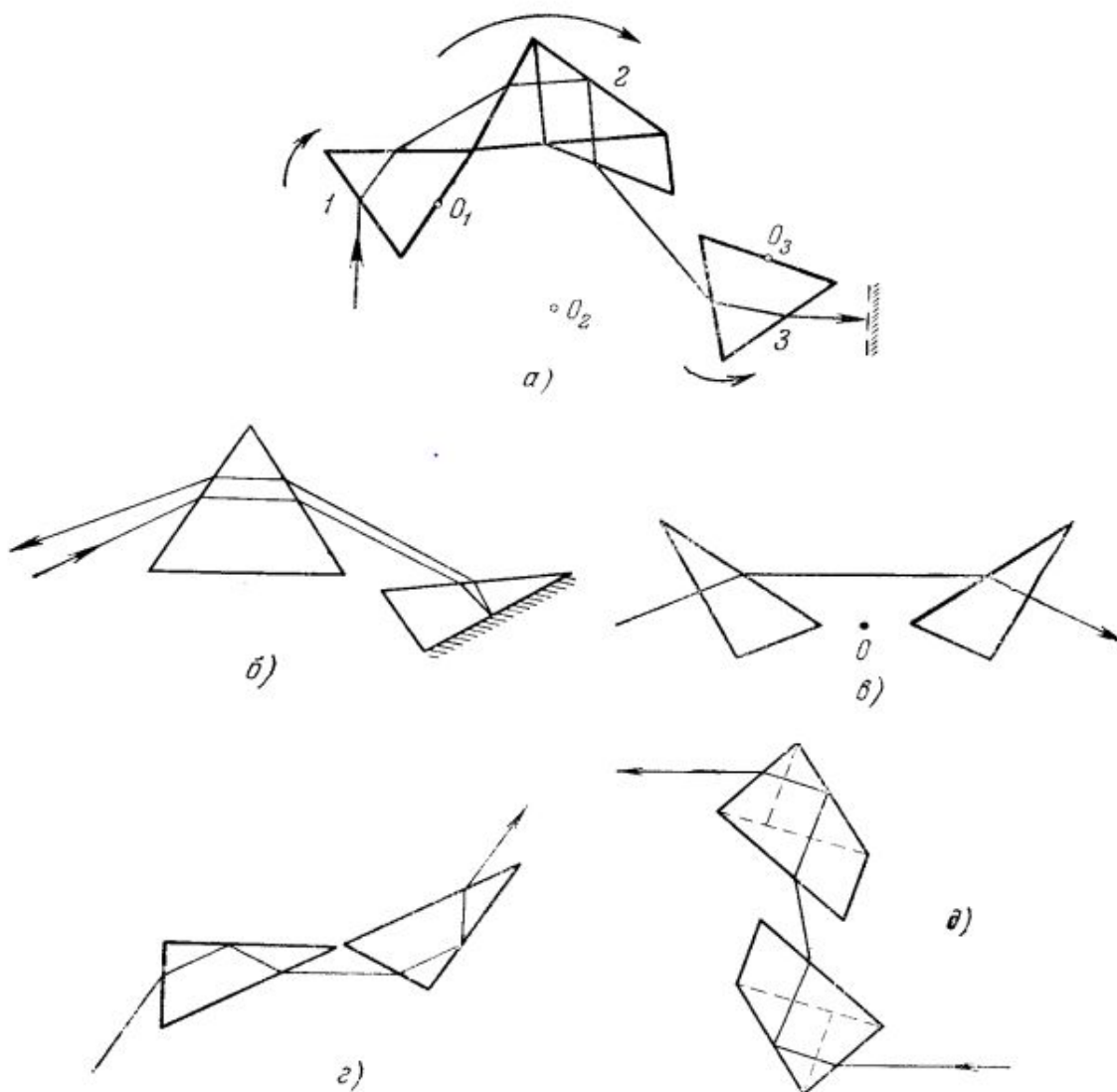


Рис. 2.2 – Багатопризменні системи Ферстерлінга (а) та еквівалентна їй автоколімаційна система (б), системи Юнга-Толлона (в), Леве (г) і Фріша (д). [1].

Роздільною здатністю оптичного приладу вважають здатність розрізнити в зображенні об'єкта дві близько розташовані світні точки в пересічному оптичному приладі або дві близько розташовані монохроматичні лінії у спектрі, який отримано за допомогою спектрального приладу. [1]

Кількісною характеристикою роздільної здатності є величина

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, [1]$$

де λ – довжина хвилі, нм. $\delta\lambda$ - мінімальна різниця довжин хвиль λ і $\lambda + \Delta\lambda$ двох близьких монохроматичних ліній в спектрі однакової інтенсивності, які ще можна розрізнити в спектрі. [1]

Освітлення вхідної щілини спектрального приладу

Потік випромінювання з вихідної щілини монохроматора при освітленні вхідної щілини джерелом суцільного спектру може бути визначений наступним чином: $\Phi = LG$. [1]. Якщо спектральна щільність яскравості джерела випромінювання або його зображення на вхідній щілині дорівнює $1(\lambda)$, то потік випромінювання у спектральному інтервалі $\delta\lambda$, що падає на коліматорний об'єктив приладу, визначається як

$$\partial\Phi(\lambda)_{\text{пад}} = \ell \delta\lambda G = \ell(\lambda) \delta\lambda \frac{h a A_k}{f^2},$$

де h, a – висота й ширина щілини, A_k – площа коліматорного об'єктива, f – фокусна відстань коліматорного об'єктива. [1].

Аберації, які оптична система приладу вносить до зображення вхідної щілини, призводять до деякого “розмиття” і викривлення форми цього зображення. Крім того деяке розширення зображення дає також дифракція. [1] Для заданого значення спектрального інтервалу максимальний потік випромінювання пропускається монохроматором при рівних значеннях ширини вхідної й вихідної щілини. [1]. Тому коли немає будь-яких додаткових міркувань, такий режим найбільш привабливий при роботі монохроматора із джерелом суцільного спектра. [1]. Питання про допустимість ширини щілини визначається характером досліджуваного спектра. При роботі з лінійчатим спектром ширина вихідної щілини обирається таким чином, щоб через неї пройшло все випромінювання встановленої лінії, тому вона повинна бути ширше вхідної щілини через

кінцеву спектральну ширину лінії, так і через дифракційне та абераційне розширення зображення. Можливий ще інший варіант: ширина вхідної щілини обирається більшою ніж вихідної настільки, що подальше її збільшення не приводить до росту вихідного з приладу потоку випромінювання. [1].

Потік випромінювання на виході монохроматора при лінійчастому спектрі, визначається виразом:

$$\Phi(\lambda_i) = \ell(\lambda_i) \tau_{oc}(\lambda_i) \frac{A_k}{f^2} h a \partial \lambda,$$

де a – ширина меншої із щілин.[1]. Пройшовши через оптичну систему монохроматора, потік буде ослаблений втратами в неї на величину коефіцієнта пропускання оптичної системи приладу на заданій довжині хвилі $\tau(\lambda)$. За рахунок розкладання випромінювання у спектр кожна точка зображення вхідної щілини у фокальній площині камерного об'єктива витягнеться у відрізок, довжина якого пропорційна спектральному інтервалу $\partial \lambda$ і дисперсії приладу, яка є мірою розходження променів різних довжин хвиль. [1]. Кутова й лінійна дисперсії пов'язані простим співвідношенням:

$$\frac{\partial \ell}{\partial \lambda} = f_2 \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda},$$

де f_2 –фокусна відстань камерного об'єктива. [1]. Таким чином, кожна точка вхідної щілини відображається у фокальній площині вихідного коліматора відрізком:

$$\partial \ell = f_2 \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} \partial \lambda.$$

Вихідна щілина приладу вирізає із спектра, який лежить у фокальній площині вихідного коліматора, частину потоку випромінювання $\Phi(\lambda)$, пропорційну ширині щілини a' і зворотно пропорційну ∂l :

$$\Phi(\lambda) = \partial \Phi(\lambda)_{\text{прош}} a' / \partial l = \ell(\lambda) \partial \lambda \tau_{\text{ос}}(\lambda) \frac{A_{\text{кол}}}{f_1^2} a a' h \frac{1}{\partial l}.$$

Зв'язок лінійної і кутової дисперсії, як відомо, наступний: $\partial l = f_2^2 \partial \varphi$ Тоді:

$$\Phi(\lambda) = \ell(\lambda) \tau_{\text{ос}}(\lambda) \frac{A}{f_1^2} \frac{1}{f_2 \partial \varphi} \partial \lambda a a' h = \ell(\lambda) \tau_{\text{ос}}(\lambda) \frac{A}{f_2 f_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi} a a' h.$$

Відношення висоти вихідної щілини до висоти вхідної є поперечне збільшення оптичного приладу і дорівнює відношенню фокусних відстаней об'єктива:

$$\beta = \frac{h'}{h} = \frac{f_2}{f_1}; \quad \Rightarrow \quad h = \frac{h' f_1}{f_2}.$$

Таким чином, вихідний з монохроматора потік математично має вигляд:

$$\Phi(\lambda) = \ell(\lambda) \tau_{\text{ос}}(\lambda) \frac{A}{f_2^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi} \frac{a}{f_1} a' h'.$$

Звичайно в монохроматорах збільшення дорівнює 1, тобто:

$$\beta = 1, f_1 = f_2 = f \quad h' = h$$

Світловий потік, який вийде із спектрального приладу визначає формулою:

$$\Phi(\lambda) = \ell(\lambda) \tau_{\text{ос}}(\lambda) \frac{A}{f^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi} \frac{h}{f} a a' = \ell(\lambda) \tau_{\text{ос}}(\lambda) \frac{A}{f^2 D_\ell} h a a'.$$

Світлосила спектрального приладу характеризує його фотометричні властивості і дорівнює коефіцієнту пропорційності к між яскравістю

джерела випромінювання і вимірюваною енергетичною величиною потоку (освітленості) :

$$\Phi_e = \kappa L_e.$$

Світлосила приладу залежить від ряду геометричних та спектроскопічних параметрів спектральних приладів, величини втрат випромінювання на всьому шляху від джерела до приймача випромінювання, а також від методу реєстрації спектра. [1]. Отже, коефіцієнт пропорційності між яскравістю джерела випромінювання і вимірюваною фотометричною величиною називають світлосилою приладу. [1]. Відповідно до вимірюваної фотометричної величини відрізняють світлосилу за потоком і світлосилу за освітленістю. Якщо на виході із спектрального приладу вимірюється потік випромінювання, який визначається, як було показано раніше, за формулою:

$$\Phi(\lambda) = \ell(\lambda) \tau_{oc}(\lambda) \frac{A}{f^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \phi} \frac{h}{f} aa' = \ell(\lambda) \tau_{oc}(\lambda) \frac{A}{f^2 D_\ell} haa',$$

то світлосила приладу за потоком становитиме:

$$\kappa_\Phi = \frac{Ahaa'}{f^2 D_\ell}.$$

Освітленість зображення щілини визначається як:

$$E_e(\lambda) = \frac{\Phi(\lambda)}{A_{вих}} = \frac{\Phi(\lambda)}{a'h'} = \ell(\lambda) \tau_{oc}(\lambda) \frac{aA}{f^2 D_\ell},$$

то світлосила приладу за освітленістю визначає як:

$$\kappa_E = \frac{Aa}{f^2 D_\ell}. \quad [1].$$

Вирази визначення потоку випромінювання, що виходить з спектрального приладу:

$$\Phi_e(\lambda) = \ell(\lambda) \tau_{oc}(\lambda) \frac{A}{f^2 D_\ell} h a a',$$

були отримані за умови, коли увесь коліматор заповнено світлом, тобто повністю використовується тілесний кут:

$$\omega = \frac{A}{f^2}.$$

Виконання цих умов є бажаним з точки зору повної реалізації не тільки світлосили приладу, але і його дозволяючої здатності. [1]. Це також необхідно для правильного порівняння досліджуваних і зразкових джерел та приймачів випромінювання. [1]. Якщо пучок променів менше, ніж повний переріз коліматора, то він може, залежно від положення джерела відносно приладу, проходити через різні місця призми, тобто довжина його шляху в призмі може бути різною. [1]. Отже будуть різні й втрати випромінювання у призмі. Якщо навіть джерело знаходиться строго на осі, то від перерізу пучка променів залежить коефіцієнт пропускання призми, для центрального променя коефіцієнт пропускання менший ніж для сукупності променів, заповнюючих коліматор. Тільки повне заповнення коліматора світлом забезпечить однозначність коефіцієнта пропускання приладу. [10]. Простіший приклад, при якому ці вимоги виконуються, має місце, якщо джерело досить велике за розміром і може бути встановлено досить близько до щілини, щоб увесь тілесний кут коліматора був заповнений випромінюванням (рис. 2.3,а). [1].

Якщо джерело замале і розташоване далеко від щілини (рис. 2.3,б), то через прилад проходить вузький пучок променів і щоб забезпечити

заповнення коліматора у разі малого джерела, який до того ж неможливо придвинути достатньо близько до щілини, застосовується конденсорна система лінз або дзеркала, які створюють зображення джерела на щілині (рис. 2.3,в). [1]. Недолік цього методу полягає в тому, що щілиною вирізається частина зображення джерела. Це призводить до того, що досліджується спектр тільки цієї частини випромінювання, а не джерело в цілому. [1]. На рис. 2.3,г наведено методику освітлення щілини через розсіюючу пластину, яка пов'язана з великими втратами випромінювання, але є найкращою з точки зору повного заповнення коліматора світлом. [1].

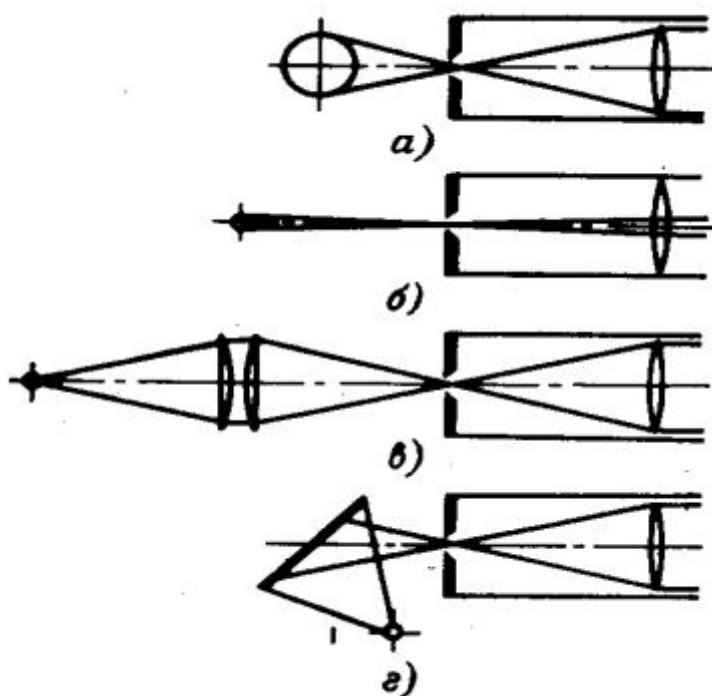


Рис.2.3 - Різні випадки освітлення щілини [1].

Конструктивні елементи спектральних приладів

Щілина спектрального приладу. У фокальній площині спектрального приладу розташовується дискретна або неперервна сукупність зображень щілини, що утворюють спектр. [1]. Інструментальний контур більшості приладів з малою і середньою дисперсією визначається в основному

якістю щілини. [8]. Тому щілина поряду з оптикою є найбільш відповідальним елементом конструкції приладу. [1]. Щілина спектрального приладу створюється двома ножами, зазвичай з нержавіючої сталі. Загальний вигляд щілини наведено на рис. 2.4. [1]. Обидва ножі рухаються симетрично відносно центра щілини і при встановленні на відмітку “0” автоматично стопоряться, так що подальше обертання мікрометричного гвинта не призводить до натиску ножів один на одного. [1]. Ножі щілини повинні лежати в одній площині перпендикулярно до головної оптичної осі приладу інакше умови проходження похилих пучків променів будуть різними (рис.2.5). [1].

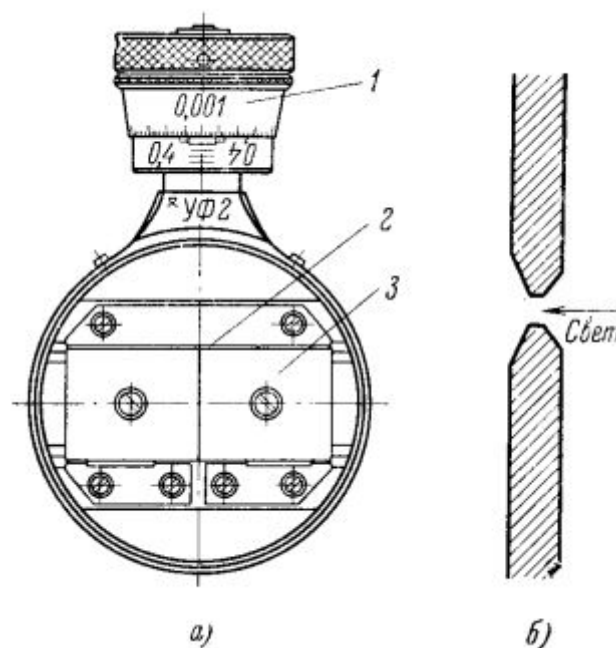


Рис. 2.7 – Стандартна щілина УФ-2. Загальний вигляд (а), та профіль ножів щілини (б):

1 - барабан мікрометричного гвинта, 2 - направляюча, 3 - ножі щілини

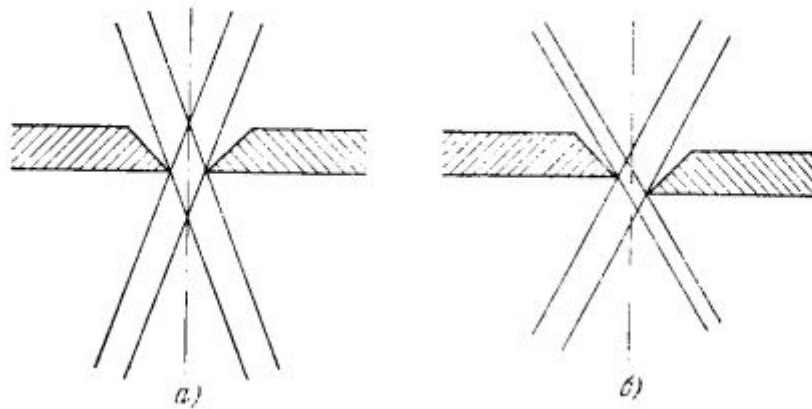


Рис. 2.5 – Проходження світла крізь щілину, в якій ножі лежать в одній (а) і в різних (б) площинах. [1].

Ширина щілини має бути постійною по всій висоті. Ця постійність повинна дотримуватись з похибкою менше ніж 1%. Звідси і вимоги до якості щілини. [1]. Неминучим дефектом щілини може бути кінцева товщина, а також прилипаючі до ножів пилинки, що заважає використовувати щілини вже при розмірах 0,01мм. Іноді застосовують ножі, які створюють щілину шириною $a=5 \div 6$ мкм, але точність такої щілини мала. Для спектрометричних робіт використовують більш широкі щілини $a \approx 0,02 \div 0,1$ мм. [1].

2.2 Висновки до розділу

Для вдалого проектування стенду необхідно провести розрахунок параметрів. Наприклад, вихідний отвір інтегруючої сфери напряму залежить від розмірів матриці. При цьому слід розуміти, що чим вужча ширина щілини - тим потужніше джерело випромінювання необхідно використовувати. Цей факт накладає певні обмеження при виборі елементної бази та створює певні труднощі в налаштуванні роботи стенду. Якщо джерело випромінювання забезпечує в роботі освітленість на щілині хоча б на рівні 30Лк - його використання у досліді доцільне. Спектральна ширина щілини мусить знаходитись у проміжку від $D_{норм}$ щілини до 20нм.

Тому на практиці в кожному конкретному випадку необхідний вибір оптимального значення спектральної ширини щілини, яка повинна бути, з

одного боку, настільки малою, щоб спотворення не проявлялись істотно, а з іншого - достатньо великою для того, щоб співвідношення сигнал / шум, що забезпечує надійну і стійку роботу приймально-підсилювальної частини спектрометра було значним.

Рис. 2.6 “Зміна контуру смуги, яка реєструється спектрометром, в залежності від спектральної ширини щілини монохроматора.”

с помощью аппаратной функции $A(\lambda)$ (рис. 5.15). Таким образом, истинное спектральное распределение $J(\lambda)$, которое интересует исследователя, преобразуется монохроматором в той или иной степени искаженное распределение $J'(\lambda)$, которое регистрируется на практике. Этот вид искажений, который обусловлен оптической частью спектрометра даже при очень узких щелях, носит название систематических искажений.

Еще большие погрешности могут иметь место при неправильном выборе реальной спектральной ширины щели прибора. Пусть в спектре имеется изолированная полоса, истинное рас-

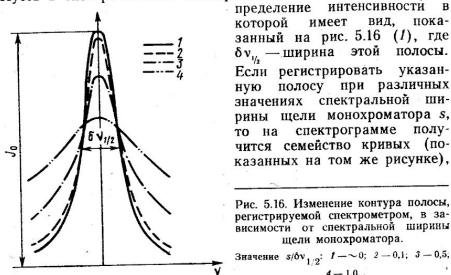


Рис. 5.16. Изменение контура полосы, регистрируемой спектрометром, в зависимости от спектральной ширины щели монохроматора.

соответствующих разной величине отношения $s/\delta\nu_{1/2}$. Нетрудно видеть, что по мере увеличения ширины щели зарегистрированная прибором полоса постепенно расширяется, а ее интенсивность в максимуме падает по сравнению с истинным распределением, т. е. спектрометр вносит в измеряемый спектр все более существенные искажения.

Из проведенного рассмотрения вытекает, что для уменьшения искажений, связанных с оптической частью спектрометра (монохроматором), необходимо производить регистрацию спектров при минимальной ширине входной и выходной щелей. К сожалению, однако, этому препятствует то важное обстоятельство, что при сужении щелей резко уменьшается количество световой энергии, попадающей в монохроматор, т. е. падает величина полезного сигнала, а следовательно, и величина отношения сигнал/шум. Последнее же, в свою очередь, приводит к возрастанию случайных ошибок при регистрации спектров, что также нежелательно. Поэтому на практике в каждом конкретном случае необходим выбор оптимального значения спектральной ширины щели, которая должна быть, с одной стороны, настолько

Програма

Для забезпечення автоматизації процесу дослідження, оскільки кількість механічних дій досить суттєва, - було розроблено програму, реалізовану у середовищі MathLab. Суть програми полягає в наступному: користувач проводить фіксацію - серію з 10 знімків зображення щілини на кожній з заданих довжин хвиль, далі кожна серія сумується, береться “усереднене” значення кадру, для кожного такого кадру проводиться попіксельне додавання, таким чином визначається значення освітленості для кадру, і вже після подальших підрахунків можна робити висновки стосовно відповідності заданим у паспорті на камеру даним спектральних характеристик приймача випромінювання.

Код програми наведено у додатках до роботи.

Розділ 3

Схема стенду

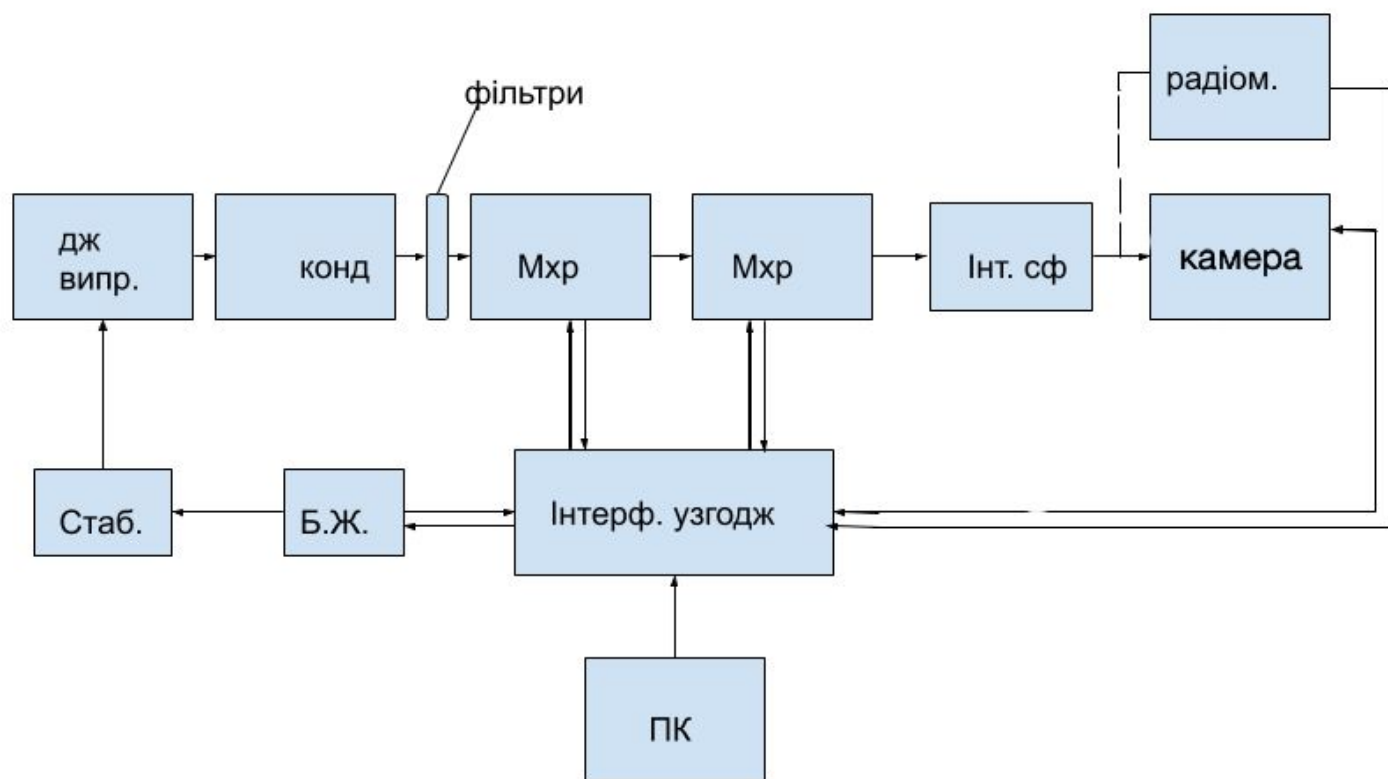


рис. 3.1 “ Структурна схема стенду”

Схема включає в себе наступні елементи:

Джерело випромінювання (лампа), конденсор, набір фільтрів для відрізання вищих порядків, 2 послідовно встановлених монохроматори МДР-23, інтегруюча сфера, досліджувана камера, радіометр, стабілізатор, блок живлення, інтерфейс узгодження, ЕОМ (ПК).



Рис.3.2 “загальний вигляд стану”

Вимірювання спектральної чутливості камери з об'єктивом проводилися на стенді вимірювання спектральних характеристик приймачів і джерел випромінювання. Загальний вигляд стану зі встановленою на столику камерою представлений на рис.3.2. До складу стану входять два монохроматора МДР-23 з'єднані за схемою зі складанням дисперсій для зменшення рівня розсіяного світла, блок управління кроковим двигуном приводу дифракційних ґраток монохроматорів, освітлювач вхідної щілини першого монохроматора, що містить світловимірювальну робочу широкодіапазонну лампу з стрічковим тілом накаливання СВРШ 8,5-200-1 і конденсор. При цьому для вимірювань в видимому і ближньому інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектра 400-1000 нм і ІЧ діапазоні спектра

700-1160 нм використовувалися змінні дифракційні ґратки - 1200 і 600 штр. / мм відповідно. Для зрізання вищих порядків спектру використовувалися світлофільтри, робочі спектральні діапазони яких - 360-600, 600-1000 і 1000-1500 нм. Живлення лампи СВРШ 8,5-200-1 здійснювалося від стабілізатора напруги СНП-40 і контролювалося вольтметром універсальним цифровим В7-34А.

Спектральна ширина вихідної щілини другого монохроматора 0,78 нм або 1,56 нм при встановлених в обидва монохроматора дифракційних ґратках 1200 штр. / мм або 600 штр. / мм відповідно. Висота вхідної щілини першого монохроматора обмежувалась по вертикалі діафрагмою Гартмана до розміру 1 мм. В якості стандартного приймача випромінювання використовувався спектро радіометр Spectrascan PR 735 з об'єктивом MS-7,5, спектральний діапазон роботи якого 380-1080 нм, спектральний розподіл 3 нм.

Спектро радіометр встановлювався замість досліджуваної камери навпроти вихідної щілини другого монохроматора.

Для кожної обраної довжини хвилі камера записувала кадр зображення вихідної щілини другого монохроматора. Для перекриття більшої площі сенсора камери зображення довелося трохи розфокусувати. На рисунках нижче наведено зображення вихідної щілини другого монохроматора, отримане камерою при установці довжини хвилі монохроматора

$\lambda = 620\text{нм}$ і $\lambda = 560\text{нм}$. У видимому діапазоні кадри записувалися з дискретністю 10 нм, в ІЧ діапазоні - 20 нм. Спектральні випромінювання, що формуються кожною з ґраток, записувалися з перекриттям, щоб їх можна було «зшити». Крім того, записувався окремий кадр фону (при перекритті вхідної щілини першого монохроматора заслонкою).

Для управління камерою використовувалося стандартне програмне забезпечення Debut, яке забезпечувало вибір режимів зйомки зображення. Для однозначності запису зображення встановлювався режим вибору параметрів «за замовчуванням». Камера працювала в режимі зйомки окремих кадрів. Залежно від встановленої довжини хвилі спектральна щільність енергетичної яскравості змінювалася в широких межах

0.0055 ... 0.8084 отн. од. Крім того, і спектральна чутливість камери також дуже сильно змінюється при зміні довжини хвилі. У зв'язку з цим для зменшення впливу шумових характеристик камери і нелінійності її енергетичної характеристики необхідно змінювати час експозиції. На довжинах хвиль, на яких було потрібно змінити витримку(експозицію) камери, записувалося два кадри зображення вихідної щілини другого монохроматора - кожен зі своєю витримкою для того щоб потім врахувати зміну вихідного сигналу камери при зміні витримки камери.

Для кожної з витримок також записувався кадр фону. Після того як процедура вимірювань з камерою була закінчена виконувалися вимірювання спектро радіометра Spectrascan PR 735 з об'єктивом

MS-7,5 інтенсивності випромінювання з тієї ж вихідної щілини другого монохроматора на тих самих довжинах хвиль і для тих же спектральних діапазонів, що і для камери.

Обробка зображень проводилась в наступній послідовності:

1) всі записані матриці зображень $M\lambda_i$ ($i = 1, 2 \dots$) для всіх довжин хвиль і матриця фону $M\Phi$ розкладалися програмою на три R, G, B складові: $MR\lambda_i$, $MG\lambda_i$, $MB\lambda_i$ і $M\Phi R$, $M\Phi G$, $M\Phi B$ - червоний, зелений, блакитний;

2) з кожної матриці зображення $MR\lambda_i$, $MG\lambda_i$, $MB\lambda_i$ віднімалася відповідна матриця зображення фону $M\Phi R$, $M\Phi G$, $M\Phi B$;

3) для кожної довжини хвилі розраховувався середній сигнал одного пікселя $IR_S(\lambda)$, $IG_S(\lambda)$, $IB_S(\lambda)$ за трьома матрицями ($MR\lambda-m\phi$), ($MG\lambda-m\phi$), ($MB\lambda-M\Phi$);

4) отримані значення сигналів $IR_S(\lambda)$, $IG_S(\lambda)$, $IB_S(\lambda)$ ділилися на значення сигналу, виміряного спектрорадіометра Spectroscan PR 735 на відповідній довжині хвилі.

Обробка зображень камери і розрахунків R, G, B спектральних складових проводилося за допомогою спеціальної програми, написаної в середовищі MathLab.

Методологія проведення вимірювань

Оскільки оцінити значення потоку, який потрапляє на камеру неможливо в ході проведення досліду (через те, що неможливо здійснити прив'язку до величин) виникає необхідність у використанні опорного каналу - метрологічно аттестованого спектрорадіометра.

Спектрорадіометр - спектральний прилад, призначений для вимірювання фотометричних характеристик (потік, освітленість, сила світла, яскравість і т.п.) джерел оптичного випромінювання. [17].

Конструктивно, загалом, він схожий на спектрофотометр, проте спектрорадіометр оснащений спеціальними додатковими джерелами світла, які дозволяють проводити порівняння досліджуваного потоку з

потокот від референтного джерела. [17]. Данне джерело може бути як вбудованим в прилад, так і розташовуватися окремо.

Для більшості сучасних спектрорадіометрів доступними є проведення всіх видів спектрорадіометричних вимірювань, в тому числі:

- фотометричних;
- кольорометричні;
- радіометричних.

За допомогою використання ПЗ проводиться подальша обробка і визначаються колірні координати, індекс передачі кольору, колірна температура. [17].

Як правило, разом із спектрорадіометром використовують джерела світла і універсальні вимірювальні системи з метою проведення таких спектрофотометричних вимірювань, як відбивна здатність і світлосила. [1]. У схемі стенду був застосований описаний нижче спектрорадіометр.



Рис 1.11 “Спектрорадіометр “SpectraScan PR 735”” [18]

Спектрорадіометр SpectraScan® PR-735 - це портативне рішення JADAK з підвищеною чутливістю для спектральних фотометричних та колориметричних вимірювань світла, призначене для застосувань, що вимагають точних вимірювань світла з різних джерел світла, таких як монітори дисплея та проектори, світловідбиваючі поверхні та промислові програми (візуальне тестування дисплея, тестування світлодіодів, пост-виробництво кіно та відео, автоматичне / аерокосмічне відображення та стоматологічне кольорове тестування). [18].

Портативний, повністю портативний акумулятор (літій-іон, зарядний пристрій USB) для самостійних операцій, інтерфейси PR-735 з USB та додаткові Bluetooth® або RS-232, з захищеним цифровим (SD) портом, щоб користувачі могли зберігати дані вимірювань на знімних носіях. [18].

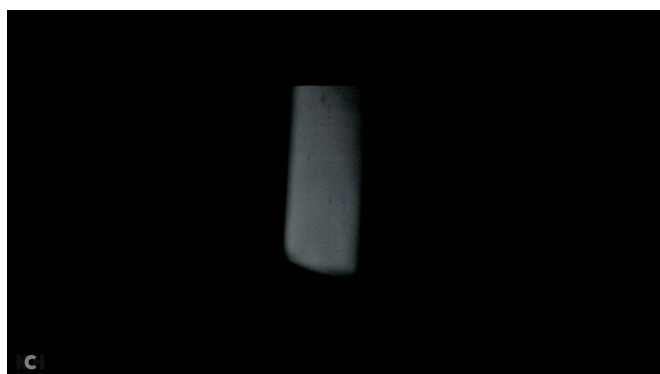
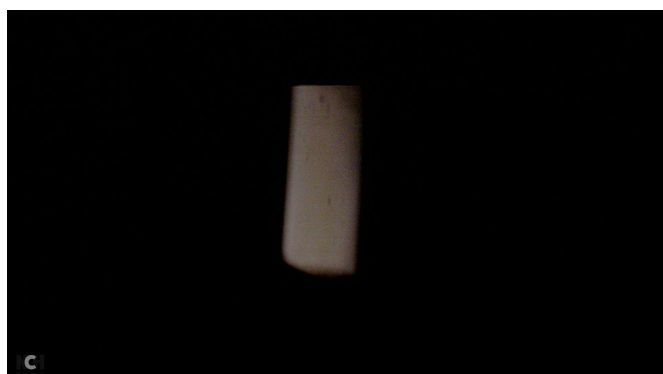
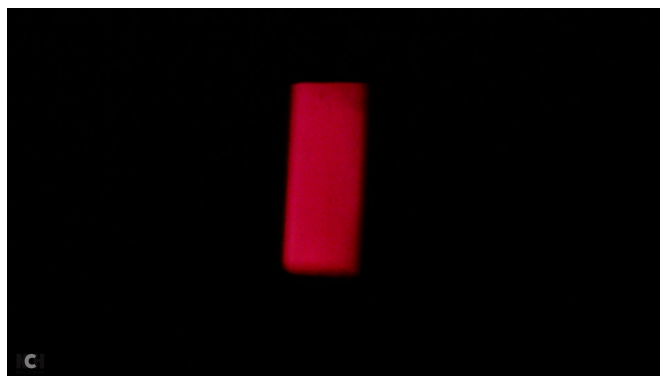
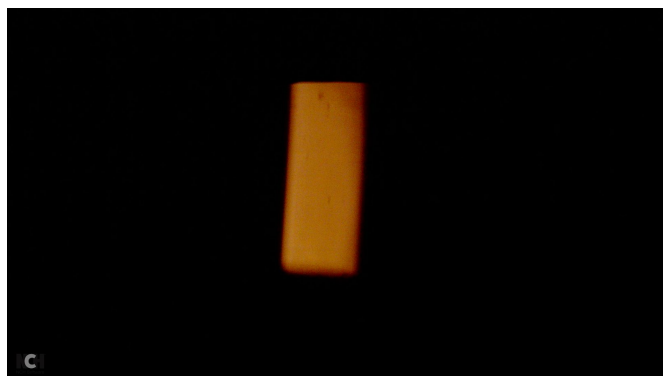
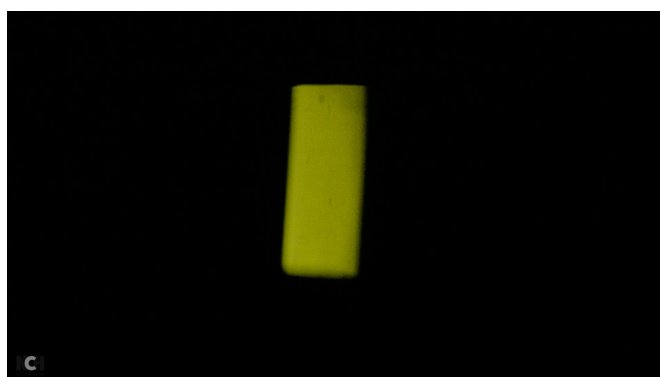
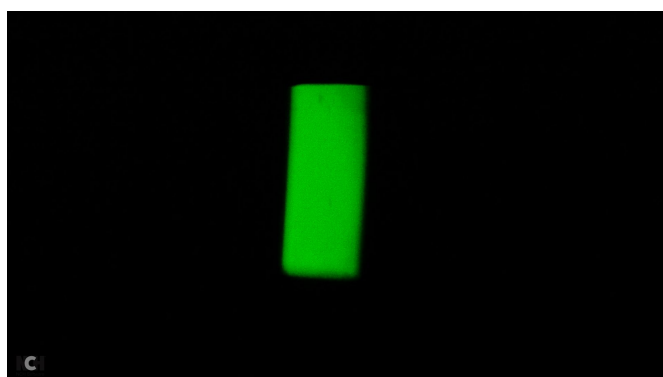
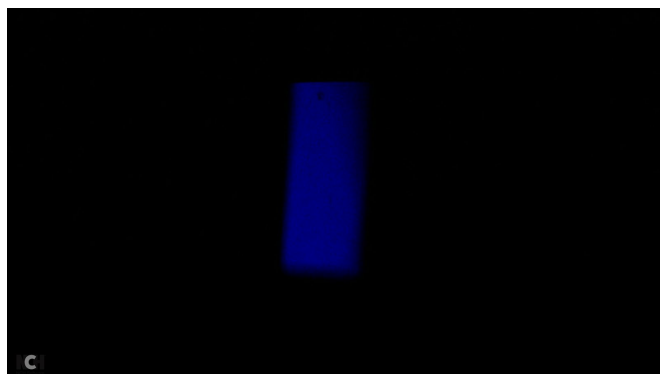
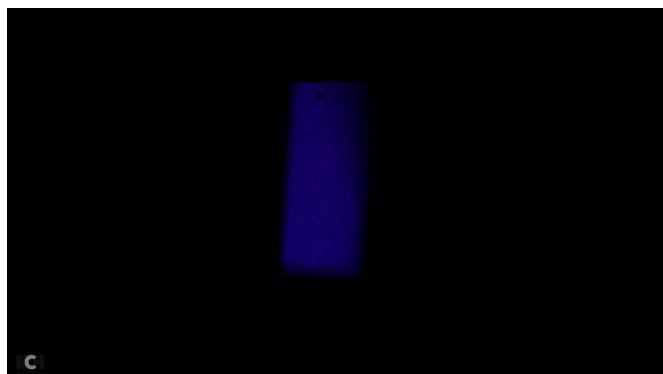
Налаштований на 512 детекторних елементах, PR-735 має широкий динамічний діапазон $1.00E - 4 - 1.40E4$ fL (без зовнішніх фільтрів нейтральної щільності), спектральну роздільну здатність 1,334 нм на піксель та спектральний діапазон 380–1080 нм у супроводі з автоматичним вимірювальним затвором (дані повідомляються кожні 2 нм). Приблизний час вимірювання - 37 500 мс. Випускається з 8 вимірювальними отворами (2° , 1° , $1/2^\circ$, $1/4^\circ$, $1/8^\circ$, $0,2^\circ$, $0,1^\circ$, $0,1^\circ \times 1^\circ$ (Гор. Щілина), $0,1^\circ \times 2^\circ$ (Верт. Щілина), $0,5^\circ \times 1,5^\circ$ (Гор. Щілина)). [18].

Пристрій відображає ряд графіків даних та кольорових спектрів:

- Фотометричні та колориметричні вимірювання на основі спектра, що виконують калібрування білої точки ЕПТ, РКД, PDP та цифрових проекторів
- Спектральний розподіл потужності джерела
- Домінуюча довжина хвилі
- Корельована кольорова температура.

3.1 Результати вимірювань

Отримані зображення щілини для різних довжин хвиль



Як видно з отриманих зображень - неможливо реалізувати рівномірне засвітлення матриці не використовуючи додаткових компонентів, саме тому у схемі стенду додано інтегруючу сферу. Альтернативою буде застосування коліматора на виході 2-го монохроматора.

Інтегруюча сфера

Інтегруюча сфера - пристрій, що слугує для просторової інтеграції світлового потоку будь-якого джерела світла. Це пола куля, внутрішня поверхня якої являє собою неселективний дифузний відбивач. Всі інтегруючі сфери мають верхнє вхідне вікно для установки джерела випромінювання.

Збоку сфери під кутом 90 градусів відносно вхідного вікна знаходиться вікно приймача випромінювання. Усередині сфери встановлений екран, який запобігає потраплянню прямих променів від джерела на приймач. Це забезпечує незалежність освітленості вхідної апертури приймального порту від кутового розподілу світла джерела.

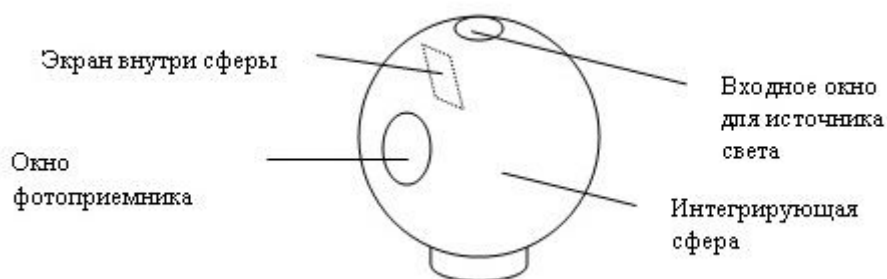


рис. 1.10 "Інтегруюча сфера" [16].

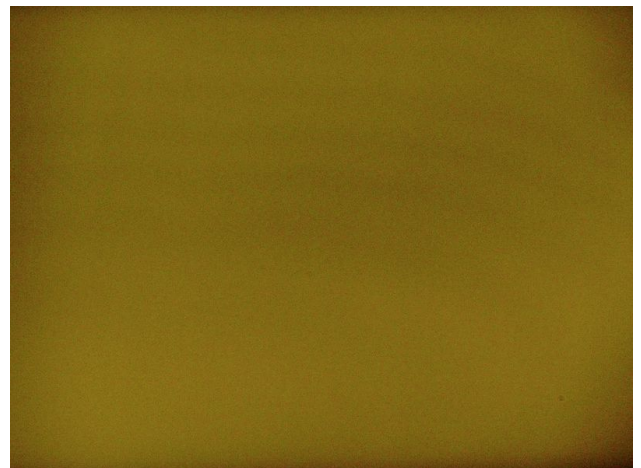
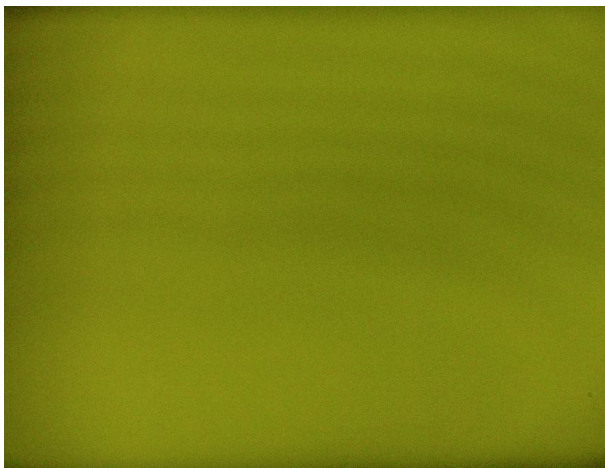
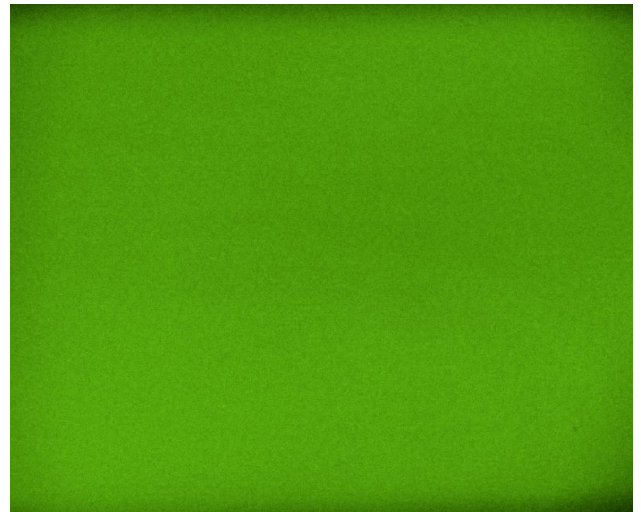
Основним фактором при виборі інтегруючої сфери є розмір вимірюваного джерела світла. Великі джерела вимагають використання більших інтегруючих сфер, щоб звести похибки вимірювань до мінімуму. [16].

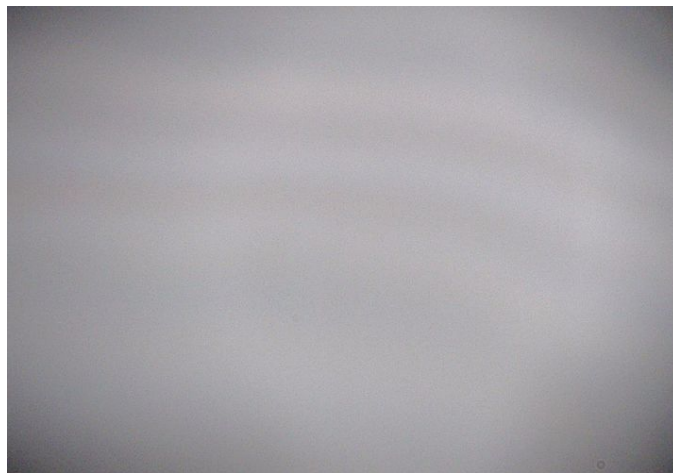
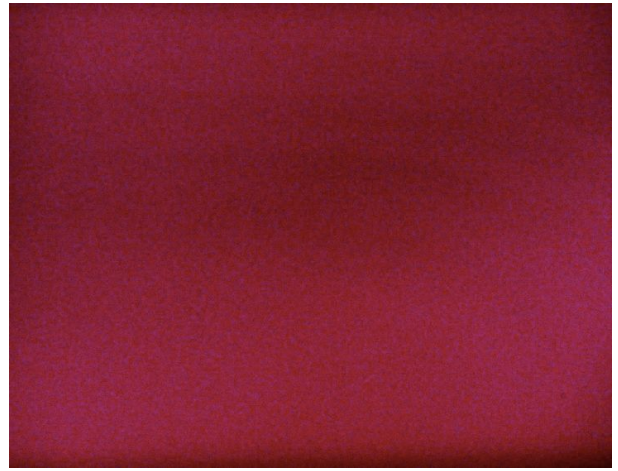
Для стенду, описаного в даній роботі необхідно вибрати інтегруючу сферу в залежності від розміру матриці досліджуваної камери. Кращим

варіантом, для забезпечення універсальності стенду, буде мати в наявності набір інтегруючих сфер з можливістю їх заміни в залежності від розміру матриці досліджуваної камери. [16].

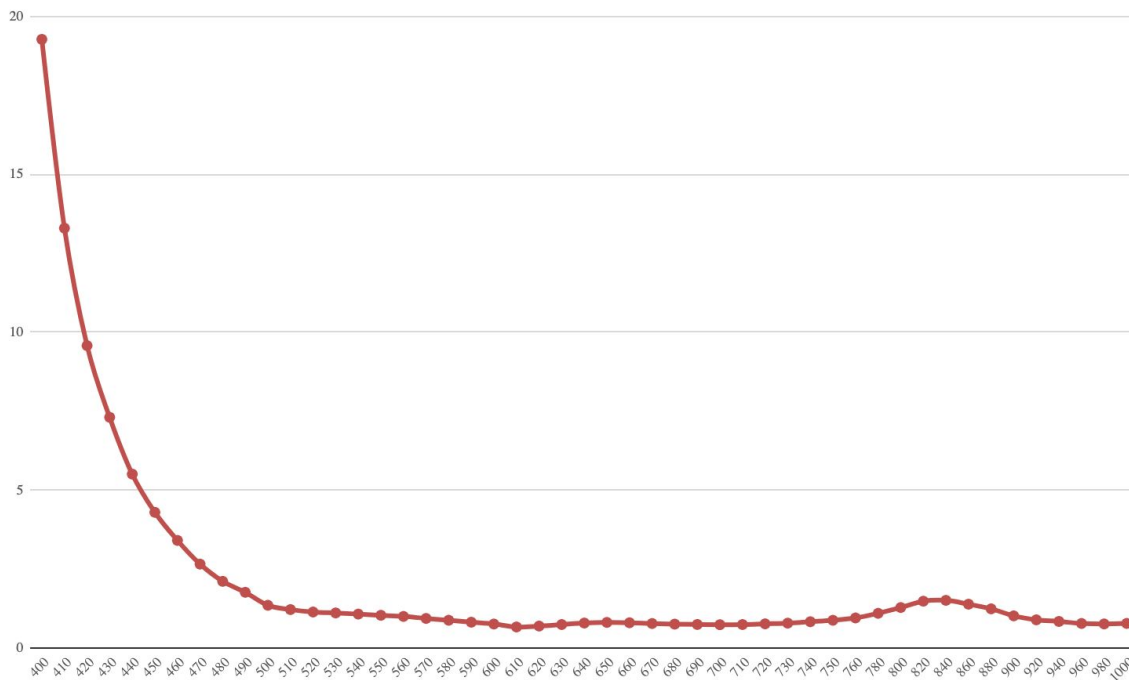
Розмір матриці камери Kurokesu C1 - $\frac{1}{3}$, 5.8мм, отже для забезпечення рівномірного засвічення матриці необхідно щоб розмір вихідного отвору сфери не перевищував складав 6 мм.

При доробці стенду та виправленні попередніх помилок з базуванням камери, установкою інтегруючої сфери - ситуація змінилась наступним чином:





Як видно з зображень - інтегруюча сфера забезпечує рівномірне засвічення матриці, що дозволяє продовжувати подальші розрахунки і отримати справедливі з наукового боку результати вимірювання.



На графіку представлені коефіцієнти (помножувачі), необхідні для проведення подальших розрахунків спектральних характеристик. Дані коефіцієнти можливо розрахувати лише за наявності опорного каналу.

Розділ 4

Розробка стартап проекту

В даному розділі приведено розрахунок економічної та практичної доцільності проекту.

Розглянувши в попередніх розділах існуючі ІВОЕС, їх типові конструкції, та характеристики було розроблено та вдосконалено нову ІВОЕС, наведено експериментальні дані. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту розробленої ІВОЕС.

Ідея проекту полягає у розробці нової інформаційно-вимірювальної оптико-електронної системи для дослідження камер яка буде давати максимально точні уявлення про характеристики досліджуваних камер, що уточнено наведено в таблицях 4.1 та 4.2.[9].

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створити інформаційно-вимірювальну оптико-електронну систему для дослідження характеристик камер.	<ul style="list-style-type: none">Військова справа	Представлена система є найбільш оптимальною серед нині існуючих. Рівномірне освітлення матриці приймача випромінювання з подальшим аналізом дозволяє дати точні уявлення про характеристики досліджуваного приладу.
	<ul style="list-style-type: none">Контроль (промисловий, екологічний)	
	<ul style="list-style-type: none">Наукові дослідження	
	<ul style="list-style-type: none">Науки про життя	

Отже, пропонується вдосконалений варіант інформаційно-вимірювальної оптико-електронної системи з впровадженням в неї конденсора для

світловимірювальної лампи «СИРШ», коліматора або інтегруючу сферу для рівномірного засвітлення матриці.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів- замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).[9].

Інформаційна карта

Назва проекту	Інформаційно-вимірювальна оптико-електронна система
Автори проекту	Андреев А.А., Кравченко І.В.
Коротка анотація	<p>Ідея проекту полягає у розробці нової інформаційно-вимірювальної оптико-електронної системи для дослідження камер яка буде давати максимально точні уявлення про характеристики досліджуваних камер. У даній системі використано послідовно під'єднані монохроматори.</p> <p>Монохроматор є найбільш розповсюдженим приладом, який є основною частиною різноманітних спектрометрів, спектрофотометрів та інших спектральних приладів. При проектуванні системи було використано 2 монохроматори МДР 23. Монохроматор МДР-23 призначений для виділення монохроматичного випромінювання в широкому спектральному діапазоні. Монохроматор МДР-23 призначений для виділення монохроматичного випромінювання в широкому спектральному діапазоні.</p> <p>Спектральні прилади з плоскими дифракційними решітками звичайно мають дзеркальні об'єктиви, тому можуть працювати в широкій області спектра, особливо при наявності змінних решіток з різним числом штрихів на 1 мм. Дозволяюча здатність і світлосила таких приладів мають найвищу для щільних приладів величину, що зумовлено , по-перше: досить великими геометричними розмірами плоских дифракційних решіток, по-друге, кутова дисперсія звичайно перевищує кутову дисперсію призми.</p> <p>Конструктивне виконання приладів з плоскими дифракційними решітками досить різноманітне. Результатом даного проекту є вдосконалений варіант інформаційно-вимірювальної оптико-електронної системи з впровадженням в неї конденсора для світловимірювальної лампи «СИРШ», коліматора або інтегруючу сферу для рівномірного засвітлення матриці.</p>
Термін реалізації проекту	12 місяців
Необхідні ресурси	<p>Трудові ресурси: ІТ спеціаліст, інженер-оптик, маркетинголог, менеджер.</p> <p>Матеріальні ресурси: Приміщення , комп'ютери, столи, стільці, 2 монохроматори МДР-23, змінні комплектуючі, набір фільтрів, коліматор.</p> <p>Фінансові ресурси: 500 000 грн</p>

Опис проблеми яку вирішує проект	Основною проблемою є невідповідність заявленим паспортним даним технічних характеристик досліджуваних зразків камер, низький рівень результатів дослідження.
Головні цілі та завдання проекту	Розробка та реалізація інформаційно-вимірювальної оптико-електронної системи для контролю камер.
Очікувані результати	В результаті роботи очікується створення системи, яка буде складатися з двох частин: випромінювальної та приймальної. Випромінювання буде здійснюватись з допомогою лампи «СИРШ» а в якості приймача буде використано спочатку приймач з відомими характеристиками, а потім досліджуваний зразок камери. Далі будуть проводитись дослідження, результатом яких буде повна розгорнута характеристика приладу реєстрації зображення. Дана система наразі є актуальною а реалізований зразок найбільш прийнятним у співвідношенні: ціна/швидкість/якість.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї		(потенційні) товари/концепції конкурентів	W (слабка сторона)		N (нейтральна сторона)		S (сильна сторона)
		Мій проект	Систем а з дифракційним і монохроматорами	Систем а з призменними монохроматорами і лінзовою оптикою	Систем а з призменними монохроматорами і дзеркальною оптикою			
1.	Ціна	700\$	1150\$	1000\$	1400\$			+

2.	Надійність	Довговічна, ремонт опридатна.	Досить крихка, потребує уважності в обходженні, ремонт опридатна.	Вразлива до зовнішніх чинників, ремонт опридатний.	Вразлива до зовнішніх чинників, ремонт опридатна.		+	
3.	Ергономічність	Зручна конструкція, простий дизайн	Зручна конструкція, складний дизайн	Зручна конструкція, складний дизайн	Менш габаритна, складний дизайн		+	
4.	Підтримка	5 років	Кожен рік	Кожні 2 роки	Кожні 2 роки			+

Сильними сторонами ідеї проекту є невисока вартість системи відносно конкурентів. Також, сильною стороною є щорічна підтримка оптичної системи та її електронних компонентів. Нейтральними сторонами є надійність та ергономічність, які мало або зовсім не відрізняються від систем конкурентів. [9].

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3. [9].

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Зведення до мінімуму масогабаритних характеристик оптико-електронної системи	Використання 2-х послідовно підключених монохроматорів та фільтрів для реалізації досліджень на чітко визначених довжинах хвиль	Наявні	Доступні

2.	Отримання системи, що дає найбільш точне і повне уявлення про характеристики досліджуваних приладів/пристроїв	Використання коліматора або інтегруючої сфери для рівномірного засвітлення матриці.	Наявні	Доступні
		Оптимізація готових оптичних рішень	Наявні	Доступні, але застарілі
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Використання коліматора або інтегруючої сфери для рівномірного засвітлення матриці.				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект буде реалізовуватися технологією використання коліматора або інтегруючої сфери для рівномірного засвітлення матриці. Цей метод загалом не використовується, але він єдиний дозволяє отримати повне і технічно правильне уявлення про характеристики досліджуваних зразків приладів.

У випадку дослідження характеристик камери з неповним засвіченням матриці - ми отримуємо неповну картину, існують пробіли в інформативності. Вирішивши це питання запропонованим методом стає зрозуміло, які з пікселів матриці спрацьовують некоректно, по якому з трьох каналів йде зсув та в який бік, змінюючи інтенсивність лампи можна визначити порогові значення освітлення матриці: починаючи з якого моменту камера «бачить» і «не бачить» об'єкти, тобто фіксує і сліпне. Що важливо - дані дослідження можна робити не знаючи паспортних даних камери, відштовхуючись лише від еталонного приймача з відомими характеристиками. Технології обраного методу є наявними та легкодоступними.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту[9].

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).[9].

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту[9].

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	15 млн.дол.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає(2,4%/рік)

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10%

Зробивши попередній аналіз ринку, можна зробити висновок, що потенційний ринок є привабливим для входження, оскільки динаміка ринку є позитивною, немає специфічних вимог до стандартизації та специфікації та немає обмежень для виходу на ринок.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5). [9].

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Проектування систем дослідження спектральних характеристик камер та інших приладів реєстрації, які можуть працювати як вдень так і вночі у будь-яких погодних умовах	Військові, органи контролю, технічні підприємства, вчені, юридичні та фізичні особи,	Ціна, результативність	Приваблива ціна, високий рівень надійності, достовірність результатів, якість досліджень, простота проведення дослідів.

Цільовою аудиторією є військові, охоронні фірми, контролюючі органи та вчені, які потребують реалізації дослідження техніки, що слугує для реєстрації зображення, її перевірки у видимій та ІЧ областях для точного уявлення про можливості даної техніки та доцільності установки, використання чи її реалізації. Різна поведінка споживачів спричинена ціною та результативністю систем. Різницею у поведінці компаній є ціна та високий рівень інформативності та достовірності результатів.

Таблиця 4.6. Фактори загроз [9].

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Переважає більшість компаній - міжнародні	Реалізація проекту на міжнародній арені може бути складною	Створення простішого і кращого методу
2.	Поведінка компаній конкурентів	Конкуренти можуть давати неточні результати досліджень корегуючи напрям своєї політики в бік швидкості обробки даних.	Збільшення штату для можливості швидшої обробки даних при збереженні якості результатів
3.	Ноу-хау конкурентів	Конкуренти можуть створити новий підхід або метод	Вдосконалення або створення нової власної системи
4.	Технологічний	Неможливість проведення процедури оцінки відповідності в інших країнах	Підвищення кваліфікації працівників
5.	Бажання клієнтів в отриманні максимально точних результатів дослідження, швидкості їх аналізу, універсальність системи.	Бажання клієнтів в отриманні найбільш точного результату в менші строки	Створення нової системи, або вдосконалення вже існуючої

Аналіз факторів загроз показав, що поведінка конкурентів може завадити виходу на ринок. Конкуренти можуть створити новий прилад, або вдосконалити свої існуючі прилади. Також, вони можуть надавати недостовірну інформацію, шукаючи власну вигоду. Тому основними

реакціями компанії є оптимізація запропонованої системи та пошук нових результативніших рішень.

Таблиця 4.7 Фактори можливостей [9].

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Потреба клієнтів в інформативнішій системі	Клієнти хочуть отримати максимально точні результати дослідження якнайшвидше.	Вдосконалення запропонованої системи

2	Винайдення простішого та результативнішого продукту	При оптимізації та аналізі системи можливе винайдення нового оптико-електронного позиціювання	Оптимізація запропонованого продукту та аналіз існуючих
3	Можливість здешевлення системи	Нові технології можуть сприяти зменшенню ціни	Впровадження нових технологій
4	Вихід на міжнародний ринок	Можливість виходу на міжнародний ринок	Впровадження нових технологій, вдосконалення запропонованого методу, підвищення кваліфікації співробітників

Аналіз факторів можливостей показав, що поведінка споживачів може призвести до вдосконалення виробництва, появи нових технологій, виходу на міжнародний ринок, можливості здешевлення системи. Тому, є необхідність в подальшому пошуку методів вдосконалення системи, аналізі існуючих та впровадженні нових технологій.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [9].

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополістична конкуренція	Галузь в основному є конкурентоспроможною, проте існує декілька явних лідерів	Щоб вийти на ринок необхідно мати конкурентний метод посадки
2. Глобальний рівень конкурентної боротьби	Закордонні та Українські конкуренти	Вихід на Український ринок не передбачає ніяких проблем, оскільки в Україні не має подібних систем, проте вихід на міжнародну арену може бути складним
3. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду	Оптимізація запропонованого методу та пошук нових
4. Ціновий характер	Споживач готовий платити не за якість а за швидкість	Довести, що можна надавати результати швидко, якісно і достовірно.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку показав, що наявна конкуренція в міжнародному масштабі ускладнює вихід на ринок, тому необхідно створити якісну систему. Але, моя система є недорогою та більш якісною, тому може конкурувати з існуючими компаніями.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером [9].

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	КП СПБ «Арсенал» «Промінь» НДЦ	НДЦ ПП	Значення розміру поставок для постачальників, налагоджені поставки	Менша вартість послуг, менший строк очікування, кращі характеристики	Немає товарів замінників
Висновки:	В межах України конкурентна боротьба не інтенсивна	Можливість виходу на ринок є. Потенційні конкуренти мають гірші характеристики системи	Не диктують оскільки вони не присутні на ринку	Клієнти диктують певні умови: ціна, якість, швидкість, надійність	Немає товарів замінників

Зробивши аналіз конкурентного ринку, та деякі обмеження з боку клієнтів, можна зробити висновок, що робота на Українському ринку не буде дуже важкою оскільки немає наявної істотної конкуренції. На мій погляд, вихід на міжнародний ринок можливий, не дивлячись на деяку конкуренцію, хоч і система не є новою її характеристики кращі ніж у конкурентів.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності [9].

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Потреби споживачів	Потреби споживачів обумовлюють необхідність розробки проекту
2	Ціна	Ціна на систему/послугу буде відносно нижча за ціну підприємств-конкурентів
3	Маркетинговий потенціал	Можливе створення імені на внутрішньому ринку з подальшими рекомендаціями на світовому ринку
4	Простота експлуатації	Встановлення системи не потребує спеціальних технічних знань
5.	Технічне обслуговування	Технічна допомога та обслуговування клієнтів

Результат обґрунтування факторів конкурентоспроможності показав, що існує фактор потреби споживачів, який обумовлює необхідність розробки проекту. Цей проект повинен конкурувати за факторами ціни та собівартості, тобто ціна та собівартість повинні бути меншими в порівнянні з рівнем ціни та собівартістю у конкурентів, простим в експлуатації, тобто не потребувати високого рівня знань у споживачів, а також, повинен бути простим в технічному обслуговуванні.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «*IBOEC*» показав, що в цілому технічна підтримка запропонованого проекту є дещо слабкою стороною у порівнянні з конкурентами, тому необхідно покращувати позиції в цьому напрямку. До сильних факторів конкурентоспроможності можна віднести якість результату та простоту експлуатації.

Таблиця 4.11. SWOT- аналіз стартап-проекту [9].

<u>Сильні сторони:</u>	<u>Слабкі сторони:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Ціна • Надійність • Простота встановлення • Висока результативність • Низька конкуренція в Україні 	<ul style="list-style-type: none"> • Технічне обслуговування • Відомість компанії/ торгівельної марки

<u>Можливості:</u>	<u>Загрози:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Створення більш досконалого системи • Поява компаній, що цікавляться інноваційними проектами • Монополія на технічну підтримку в Україні • Здешевлення системи • Надання найвищого з можливих на ринку рівню якості досліджень 	<ul style="list-style-type: none"> • Ноу-хау конкурентів • Складна реалізація на міжнародній арені • Конкуренти можуть знизити ціни та зменшити час обробки результатів з метою залучення нових клієнтів • Нові гравці на ринку • Потреба в наданні результатів якнайшвидше

SWOT-аналіз стартап проекту дає зрозуміти, що сильними сторонами проекту є низька ціна продукції, простота використання, технічне обслуговування, низька конкуренція в Україні, та нема наявних лідерів в світі. До слабких сторін належать початковий слабкий імідж продукції на ринку, та складність технічного обслуговування поза межами України.

Ноу-хау та цінова політика конкурентів, поява нових гравців на ринку, та нові потреби споживачів – це ринкові загрози, а створення більш досконалої системи, або модернізація вже існуючої, здешевлення системи,

монополія на технічну підтримку в Україні та поява нових компаній які цікавляться даною системою – це ринкові можливості.

Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту [9].

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	30%	4-10міс.
2	Приймати участь в міжнародних виставках	65%	1-3 р.

На основі SWOT-аналізу було розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. З усіх альтернатив було обрано участь в міжнародних виставках – 65%. Але не виключається інша альтернатива, оскільки вона може підвищити конкурентноспроможність серед міжнародних користувачів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту [9].

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів [9].

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Військові підприємства	Готові	200 копій	Середня	Важка
2	Охоронні компанії	Готові	400 копій	Низька	Проста
3	Органи контролю	Готові	800 копій	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: усі					

Цільовою групою потенційних клієнтів було обрано військові підприємства, оскільки їм завжди потрібен високий рівень інформативності і достовірності результатів, а системи, яві використовуються ними є достатньо дорогими і ненадійними. Всі групи готові сприйняти продукт. Орієнтовний попит для першої групи – 200 копій, другої – 400 копій, третьої – 800. Інтенсивність конкуренції в сегменті в рамках України середня, а вхід у сегменти є варіативним в залежності від профілю, проте загалом є реальним. Оскільки компанія працює з декількома сегментами – вона використовуватиме стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії розвитку [9].

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Участь у міжнародних виставках	Ексклюзивний розподіл	Дана система, з подвійним монохроматором та коліматором сприятиме високій точності результатів і, як наслідок, - зацікавленості клієнтів	Стратегія диференціації

Для обраної альтернативи розвитку проекту було обрано ексклюзивний розподіл як стратегію охоплення ринку, а базовою стратегією – стратегію диференціації. Така стратегія є найбільш доцільною, оскільки вона знижує ступінь замінності товару по відношенню до прямих конкурентів, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.15). [9].

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [9].

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні, оскільки у конкурентів реалізовані подібні системи	Компанія буде орієнтована на всі групи споживачів	Так, деякі з них, наприклад наявність монохроматора з дифракційними ґратками	Стратегія позиціонування

Базовою стратегією конкурентної поведінки було обрано стратегію позиціонування, оскільки вона є найбільш доцільною. Компанія показує чим продукт унікальний, чим відрізняється від конкурентів, чим корисний споживачу, а саме відбувається позиціонування на особливостях технології, що є важливим для споживачів. Також, з таблиці видно, що товар не є "першопрохідцем", але компанія буде копіювати деякі характеристики товарів у конкурентів. На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію наслідування лідера яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

Розроблення маркетингової програми стартап-проекту [9].

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.17 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.17. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару [9].

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Економічність	Доступність для придбання	Придбати дану систему можуть всі потенційні клієнти з Таблиці 4.14
2	Результативність	Менший час обробки, вища якість результатів	Значно точніші результати досліджень в порівнянні з конкурентами

Формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач, показало, що споживачі, у яких буде впроваджено даний стартап-проект, зможуть отримувати чіткі дані аналізу і розуміти можливості для використання дослідних зразків в найкоротші строки з найвищою якістю, та прийнятнішою ціновою політикою ніж у конкурентів.

Таблиця 4.18. Опис трьох рівнів моделі товару [9].

Рівні товару		Сутність та складові
I. Товар за задумом		<ul style="list-style-type: none"> Інформаційно-вимірювальна оптико-електронна система для дослідження спектральних характеристик камер
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	

	1.Ціна 2.Лампа 3.Монохроматор 4.Коліматор або інтегруюча сфера 5. Швидкість обробки даних	~700\$ «СІРШ» «МДР-23», 2 шт + До 2-х днів з урахуванням затримок передачі інформації
		Якість: параметри тестування, стандарти, нормативи
		Пакування: коробки з пінопластом обернені плівкою, що не пропускає вологу, антистатичний пакет, кейси для габаритної техніки, змінні комплектуючі, гарантійний талон від виробника
		Марка: A+ Systems co.
III. Товар із підкріпленням		До продажу: вміння проектувати оптико-електронні системи
		Після продажу підтримка клієнту 5 років
Товар буде захищений за рахунок патенту на корисну модель та комерційної таємниці		

Опис трьох рівнів моделі товару показав, що основний задум даного стартап- проекту полягає у створенні вдосконаленої експериментально інформаційно- вимірювальної оптико-електронної системи для дослідження спектральних характеристик камер. Перевагою даного проекту є зменшення часу обробки результатів з підвищенням якості результатів дослідження та їх повноти. До продажу виробникам потрібно мати особливі навички для створення та налаштування а після її продажу

клієнти зможуть користуватися нею без спеціальних навичок, що робить систему досить простою у використанні.

Проект буде захищено від копіювання за рахунок патенту на корисну модель та комерційної таємниці.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар/послугу, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.19).

Таблиця 4.19.1 Витрати на створення стартапу. [9].

№ п/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 1й рік, тис. Грн
1	Розробка проектних матеріалів	40 000
2	Робоче проектування і прив'язка проекту	25 000
3	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	250 000
4	Витрати на приймально-здавальні випробування	85 000
5	Витрати на придбання нематеріальних активів	50 000
6	Оплата юридичних послуг	70 000
7	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	25 000
8	Витрати, пов'язані з формуванням команди	160 000
	Разом	705 000

Таблиця 4.19.2 Визначення меж встановлення ціни [9].

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/ послугу
	Товари-замінники відсутні	1000-2000\$	650 000\$	100\$/800\$

Виконавши аналіз рівня цін на товари замітники, товари аналоги та доходів цільової групи споживачів було сформовано нижню \$100 та верхню \$800 межі встановлення ціни на товар, що дає цінову перевагу перед товарами конкурентів.

Таблиця 4.20. Формування системи збуту [9].

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення напряму у виробника	<ul style="list-style-type: none"> - встановлення контактів зі споживачами, їх підтримка; - розробка і реалізація програм з підтримки лояльності клієнтів; - дослідницька робота зі збору маркетингової інформації. 	Канал нульового рівня (виробник безпосередньо продає товар клієнту)	Збут продукції/реалізація послуги відбуватиметься безпосередньо через сайт виробника

Збут товару/реалізація послуг буде відбуватися через сайт розробника.

Завдяки цьому можна легко встановлювати контакти зі споживачами та забезпечувати їх подальшу підтримку, організовувати дослідницьку роботу зі збору маркетингової інформації та розробку і реалізацію програм підтримки лояльності клієнтів.

Таблиця 4.21. Концепція маркетингових комунікацій [9].

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленні клієнти, що завжди у пошуках нових, якісніших технологій, відвідують виставки, дізнаються про новинки в інтернеті, тощо	Міжнародні виставки, мережа інтернет (спеціалізовані сайти або форуми), інформаційні друковані видання, новини з технічного світу, тощо	Участь в усіх можливих тематичних виставках, направлений інтернет-маркетинг, публікації	Представлення товару, його позиціонування з метою залучення та зацікавлення клієнтів	«Якісна інформаційно-вимірювальна оптико-електронна системи для дослідження спектральних характеристик камер»

Концепція маркетингових комунікацій показала: для того щоб популяризувати власну продукцію необхідно показувати продукцію на виставках, публікувати дослідницькі статті, показувати свою активну розробницьку наукову діяльність з залученням різноманітних джерел. Завданням рекламного повідомлення має стати представлення товару відповідній аудиторії (підприємств).

Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити наступний висновок: попит на продукцію наявний, що підтверджується позитивною динамікою ринку та потребі в контролі якості та відповідності заявленим паспортним даним характеристик камер та інших приладів реєстрації зображень.

Інтенсивність конкуренції в сегменті в рамках України не значна, вхід у сегмент є відносно простим, але з тенденцією до ускладнення при виході на міжнародний ринок.

Цільовою групою потенційних клієнтів є військові компанії, охоронні компанії, органи контролю та вчені.

В якості альтернативи впровадження проекту доцільно обрати представлення товару на міжнародних виставках, сформулювати пропозицію на реалізацію послуг з перевірки характеристик камер.

Перевагою даного проекту є значне підвищення якості результатів вимірювань та їх надійність в поєднанні з меншим часом, необхідним на обробку. До продажу виробникам потрібно мати особливі навички для створення та налаштування системи, а після її продажу клієнти зможуть користуватися нею без спеціальних навичок, що робить систему досить простою у використанні. Проект буде захищено від копіювання за рахунок патенту на корисну модель та комерційної таємниці.

Оскільки цільова аудиторія дізнається про нову продукцію переважно через мережу інтернет, публікації, новини та виставкові зали, було вирішено, що найдоцільнішим шляхом розповсюдження продукції є сайт виробника та представлення системи на міжнародних виставках. Також, необхідним є створення наукових публікацій та виступи на наукових конференціях. Реалізація (імплементация) запропонованого проекту є доцільною, оскільки інформаційно-вимірювальні оптико-електронні системи для дослідження спектральних характеристик камер, що здатні швидко та за короткий проміжок часу надавати повне уявлення про

характеристики приладу та їх відповідність вказаним паспортним даним є та будуть актуальними у майбутньому.

Список літератури

1. Тарасов К. И. Спектральные приборы / К. И. Тарасов. – Ленинград: "Машиностроение", 1968.
2. **“МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ” // ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ. – 1988.**
3. Кравченко І.В. Моделювання інформаційно-вимірювальних систем: Конспект лекцій. (електронне видання). К.:КПІ,2017.-79с
4. EMVA Standard 1288 “Standard for Characterization of Image Sensors and Cameras” [Електронний ресурс] // European Machine Vision Association – Режим доступу до ресурсу: www.emva.org.
5. Graphic technology and photography — Colour characterisation of digital still cameras (DSCs) — Part 1: Stimuli, metrology and test procedures [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: www.iso.org.
6. Міхеєнко Л.А. Радіометричні вимірювання. / Міхеєнко Л.А.. – Київ, 2011. – (Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”).
7. Кравченко І. В. Розробка конструкторської документації в середовищі AUTOCAD MECHANICAL: Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Уклад.: І. В. Кравченко, В. І. Микитенко – НТУУ "КПІ". Електронні текстові дані (1 файл).- Київ: НТУУ "КПІ", 2016. ISBN 978-966-8777-25-7

8. Кравченко І. В. Розробка конструкторської документації в середовищі AUTOCAD MECHANICAL: Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Уклад.: І. В. Кравченко, В. І. Микитенко – НТУУ "КПІ". Електронні текстові дані (1 файл).- Київ: НТУУ "КПІ", 2016. ISBN 978-966-8777-25-7
9. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТІВ. // НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського". – 2018.
10. USB camera C1 KUROKESU [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: www.kurokesu.com.
11. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу:<https://videotehnika.com.ua/ua/tehnicheskie-parametri-kam-eri-videonabljudenija--tipi-matric/>
12. ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<http://electrospb.ru/elektroosveshchenie-3/01-lampy-nakalivaniya/>.
13. “Основные технические характеристики камер” [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<http://zapishemvse.ru/osnovnye-texnicheskie-xarakteristiki-kamer/>.
14. Спектроскопия, оптика и лазерная техника для научных исследований [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<http://www.solartii.com/>
15. “Энциклопедия по машиностроению XXL”[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://mash-xxl.info>
16. “Интегрирующие сферы” [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
http://www.photooptic-filters.com/Integrating_spheres/

17. “Спектрорадиометр” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://ate-m.by/wiki/term/spektroradiometr/>

18.Spectrascan 735 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<https://www.jadaktech.com/products/photo-research/spectrascan-pr-735/>